



TUGAS AKHIR - MO141326

PEMODELAN *RUN UP* TSUNAMI: STUDI KASUS KOTA CILACAP

ESTKA EKO FADHIL

NRP. 04311340000056

Dosen Pembimbing :

Haryo Dwito Armono, S.T., M. Eng., Ph.D.

Dr. Ing. Ir. Widjo Kongko, M. Eng. (BPPT YOGYAKARTA)

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 60111

2018



FINAL PROJECT - MO141326

TSUNAMI RUN-UP MODEL: A CASE STUDY OF CILACAP

ESTKA EKO FADHIL

NRP. 04311340000056

Supervisors :

Haryo Dwito Armono, S.T., M. Eng., Ph.D.

Dr. Ing. Ir. Widjo Kongko, M. Eng. (BPPT YOGYAKARTA)

OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 60111

2018

PEMODELAN RUN UP TSUNAMI: STUDI KASUS KOTA CILACAP

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

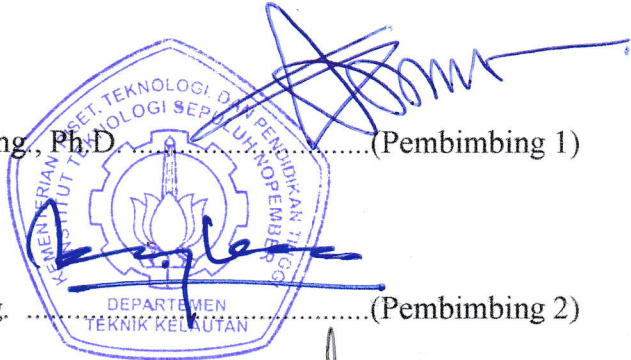
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ESTKA EKO FADHIL

NRP. 04311340000056

Disetujui oleh :

- 
1. Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D. (Pembimbing 1)
 2. Dr.Ing. Ir. Widjo Kongko, M.Eng. (Pembimbing 2)
 3. Prof. Ir. Muhtasor, M.Eng., Ph.D. (Penguji)
 4. Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc. (Penguji)
 5. Sujantoko, S.T., M.T. (Penguji)

SURABAYA, JANUARI 2018

(halaman ini sengaja dikosongkan)

PEMODELAN *RUN UP* TSUNAMI: STUDI KASUS KOTA CILACAP

Nama : Estka Eko Fadhil
NRP : 04311340000056
Departemen : Teknik Kelautan FTK – ITS
Dosen Pembimbing : Haryo Dwito Armono, S.T., M. Eng., Ph.D.
Dr. Ing. Ir. Widjo Kongko, M. Eng.

Abstrak

Wilayah Indonesia yang memiliki kerawanan tinggi terhadap bencana tsunami adalah daerah selatan pulau Jawa. Kota Cilacap merupakan salah satu daerah di selatan pulau Jawa yang memiliki populasi penduduk padat, terdapat pula infrastruktur vital, dan medan topografi yang datar menjadikan daerah tersebut memiliki kerentanan yang tinggi terhadap bencana tsunami. Oleh karena itu diperlukan upaya untuk menganalisa model inundasi (*run-up* dan genangan) untuk memprediksi wilayah Kota Cilacap yang terdampak akibat tsunami. Data yang digunakan dalam analisa inundasi tsunami adalah batimetri dan topografi dari wilayah Kota Cilacap., dan data tinggi serta kecepatan gelombang tsunami berdasarkan simulasi dengan software TUNAMI yang dilakukan oleh BPDP Yogyakarta. Dalam penelitian ini digunakan data topografi yang berbeda yaitu menggunakan *data surface model* (DSM) dan *data terrain model* (DTM) untuk input model inundasi. Pemodelan inundasi dilakukan dengan bantuan software FLOW3D. Hasil pemodelan dengan *software* Flow 3D untuk *data surface model* menghasilkan genangan mencapai jarak 1,92 Km dengan tinggi maksimal genangan 3,3 m. Sementara pemodelan dengan menggunakan *data terrain model*, menghasilkan genangan hingga mencapai jarak 3,52 Km dengan tinggi maksimal genangan 5,3 m. Penjalaran gelombang dari pusat patahan menuju pantai hingga menghasilkan inundasi memerlukan waktu 45 menit 40 detik.

Kata Kunci: Bencana Tsunami, Kota Cilacap, Flow 3D

TSUNAMI RUN-UP MODEL: A CASE STUDY OF CILACAP

Name : Estka Eko Fadhil
Reg. Number : 04311340000056
Department : Ocean Engineering, FTK – ITS
Supervisors : Haryo Dwito Armono, S.T., M. Eng., Ph. D.
Dr. Ing. Ir. Widjo Kongko, M. Eng.

Abstract

One of the areas in Indonesia which is vulnerable to Tsunami is the southern part of Java; where Cilacap is located. Densely populated, topographically flat, the presence of vital infrastructure, the city of Cilacap is significantly prone to the disaster of tsunami. Therefore, it is important to analyze the inundation in order to predict the area in Cilacap affected by tsunami. The data employed in the analysis were bathymetry and topography of Cilacap, as well as the height and the velocity of tsunami obtained from TUNAMI software simulation performed by the Agency for the Assessment and Application of Technology (BPPT) Yogyakarta. In this study, two scenarios of different typography data, namely: data surface model (DSM) and data terrain model (DTM) will be used as input inundation model in FLOW3D. Result of inundation model using Flow 3D software, on DSM shows that the inundation reached about 1,92 km with the height up to 3,3 m. As for model with DTM input, the inundation reached about 3,52 km with the height up to 5,3 m. The length of time needed in order to produce inundation from the epicenter to the coast is 45 minutes 40 seconds.

Keywords: Tsunami, City of Cilacap, Flow 3D

(halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah penulis ucapkan rasa syukur yang sebesar besarnya atas kehadiran Allah SWT. dimana telah memberikan rahmat serta hidayahnya yang membuat penulis bisa hadir dan menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.

Tugas Akhir ini penulis beri judul “*Pemodelan Run Up Tsunami: Studi Kasus Kota Cilacap*”. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan Studi (S1) di departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknologi kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Yang diharapkan bisa menjadi bahan acuan untuk saling belajar dan meningkatkan semangat untuk meneliti bagi teman – teman yang membaca Tugas Akhir ini.

Pada Tugas Akhir ini, dibahas secara khusus mengenai simulasi *run up* tsunami menggunakan *software* yang bisa penulis bilang cukup menantang dan membuat penasaran yaitu Flow 3D. Penggunaan *software* ini ditujukan untuk melihat seberapa besar jarak dan tinggi genangan pada *run up* tsunami. Selain itu juga membahas tentang perbandingan topografi yang mengakibatkan perbedaan pada tinggi genangan yang terjadi pada dua topografi yang berbeda yaitu *data surface model* dan *data terrain model*.

Pada kepenulisan Tugas Akhir ini, penulis masih merasa ada kekurangan disana sini. Maka dari itu, di perlukan kritik dan saran dari pembaca guna meningkatkan kemampuan menyusun laporan yang lebih baik dikemudian hari. Penulis berharap agar penelitian ini dapat berguna dan bermanfaat bagi pembaca dan

Surabaya, 2018

Estka Eko Fadhil

(halaman ini sengaja dikosongkan)

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis juga tidak lupa untuk mengucapkan rasa syukur dan berterimakasih banyak atas dukungan orang-orang hebat yang menjadi panutan, tempat curhat, dan penyokong hidup penulis dari kecil hingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Dengan ini, penulis berterimakasih dan bersyukur atas:

1. Allah SWT. yang selalu menjadi tempat curhat paling ampuh nomor satu yang telah memberikan rahmat serta hidayah untuk kemudahan kepenulisan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Heny Sunarko dan Ibu Rolia Ulfa, selaku pendosa tanpa henti yang paling bijak dan panutan bagi penulis sebagai orang tua yang hebat. Serta adik-adik penulis Riezka Bening D. dan Althaf Trisetia A. untuk wajah ceria yang selalu disematkan ketika kakak tertuanya pulang ke rumah.
3. Bapak Haryo Dwito Armono, S.T., M. Eng., Ph. D. selaku dosen pembimbing I dan Bapak Dr. Ing. Ir. Widjo Kongko, M. Eng. selaku dosen pembimbing II.
4. Bapak Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng, Ph.D., bapak Dr. Ir. Hasan Ikhwan, M.Sc., bapak Sujantoko, S.T., M.T., selaku dosen penguji yang membantu penulis dengan saran dan perbaikan untuk Tugas Akhir ini.
5. BPPT Yogyakarta atas dukungan data yang bisa penulis jadikan bahan dalam penulisan tugas akhir ini, salah satunya mas Hilmi Aziz S.T. selaku mentor magang di BPPT Yogyakarta, yang selalu lucu dan memberikan ide-ide untuk penulis.
6. Dikky Yuniansyah, sebagai teman yang selalu ada yang juga partner bagi penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Adimas Hasnan, Daniel Ferlando, Bima Ero, Ghifari, Bang Bryan sebagai teman mengerjakan Tugas Akhir paling luar biasa. Semangatnya terus membuat penulis ikut semangat dalam menyelesaikan tugas akhir. Serta teman-teman pejuang kelautan lainnya.

8. Teman-teman Valtameri Teknik Kelautan Angkatan 2013, yang selalu memberi dukungan semasa kuliah.
9. Kakak, teman, saudara, tempat saya mengeluh. Mas Devi Yudha Utama kakak paling hebat yang pernah saya kenal, dan juga terbijak dalam memberikan arahan, Mbak Yunita, Mas Doebs, Mas Briza, Billy Gema teman paling terbaik yang selalu mengingatkan untuk tidak menjadi anak yang nakal, Senawira, Bagus, teman-teman paduan suara yang tak bisa penulis sebutkan satu persatu, dan Garnis YPNP sebagai *support system* paling luar biasa sejak tahun 2012.
10. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Kelautan ITS yang telah memberikan ilmu, bantuan dan fasilitas kepada penulis selama menjalani perkuliahan.

Serta semua pihak yang telah membantu namun tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu. Terima kasih atas semua bantuan, motivasi dan doanya, semoga mendapat balasan pahala dari Allah SWT. Amin.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
COVER PAGE	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	viii
UCAPAN TERIMA KASIH	x
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	7
2.2.1 Pengertian Tsunami.....	7
2.2.2 Sumber Pembangkit Tsunami	9
2.2.3 Istilah Dalam Tsunami	10
2.2.4 <i>Run-Up</i> Tsunami	11
2.2.5 Persamaan Navier Stokes	12
2.2.6 Jarak Genangan	13
2.2.7 Batimetri	14
2.2.8 <i>Digital Surface Model</i> (DSM).....	14
2.2.9 <i>Digital Terrain Model</i> (DTM)	15
2.2.10 <i>Root Square Mean Error</i>	16

2.2.11 <i>Normalized Root Square Mean Error</i>	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Diagram Alir Penelitian	19
3.2 Penjelasan Diagram Alir	20
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Daerah Penelitian	27
4.2 Data Topografi dan Batimetri	28
4.3 Data Tsunami	28
4.4 Validasi Model	29
4.5 Pemodelan Menggunakan Flow 3D	30
4.5.1 <i>Model Set Up</i>	31
4.5.2 <i>Process Simulation</i>	33
4.5.3 Titik Probe	34
4.5.4 Titik <i>Coupling</i> pada <i>Software</i>	35
4.5.5 Hasil <i>Running</i>	36
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN	45
5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran	46
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN	50
BIODATA PENULIS	66

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Gempa (Titik) & Tsunami Berikutnya (Bintang) & <i>Seismic Gap</i> (Kongko W., 2011)	2
Gambar 2.1 Hubungan Kecepatan dan Amplitudo Gelombang Tsunami di Tengah Lautan dan Setelah Sampai di Pantai (BMG, 2006)	7
Gambar 2.2 Proses Deformasi Dasar Laut Arah Vertikal (JMA, 2007)	9
Gambar 2.3 Pergerakan Sumber Tsunami Dasar Laut Mengikuti Deformasi Sesar (Satake, 2006)	10
Gambar 2.4 Ilustrasi Istilah yang Digunakan dalam Pembahasan Tsunami (UNESCO, 2014)	10
Gambar 2.5 Contoh DSM dengan Relief Berbayang Menunjukkan Teluk Hananauma dan Kawah Koko (INTERMAP, 2007)	15
Gambar 2.6 Contoh DTM dengan Relief Berbayang Menunjukkan Teluk Hananauma dan Kawah Koko (INTERMAP, 2007)	16
Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian	19
Gambar 3.2 Simulasi Model Tsunami pada Port of Imwon Menggunakan Flow 3D (Flow3d.com)	21
Gambar 3.3 Pantai pada Topografi DTM	22
Gambar 3.4 Pantai pada Topografi DSM	22
Gambar 3.5 Topografi DTM Tampak Atas	23
Gambar 3.6 Topografi DSM Tampak Atas	23
Gambar 3.7 Kilang Minyak pada Topografi DSM dengan diameter 10 m dan Tinggi 10 m Dilihat dari Software Global Mapper	23
Gambar 3.8 Model <i>Run-Up</i> (Kongko, W. dan Schlurmann, T., 2010)	24
Gambar 3.9 Tsunami Menggunakan Flow 3D (Youtube.com)	24
Gambar 3.10 Titik Validasi	25
Gambar 3. 11 Waktu Tiba Terhadap Tinggi Tsunami	26
Gambar 4.1 Data Topografi dan Batimetri Kota Cilacap: (a) <i>Data Terrain Model</i> (b) <i>Data Surface Model</i>	28
Gambar 4.2 Titik Validasi yang Didapatkan dari BPPT Yogyakarta dan Titik Observasi yang Ditambahkan	29
Gambar 4.3 Perbandingan Data Nyata dan Flow 3D	30
Gambar 4.4 Input Data pada <i>Tab General</i>	31
Gambar 4.5 Input Data pada <i>Tab Physics</i>	32
Gambar 4.6 Input Data pada <i>Tab Fluids</i>	32
Gambar 4.7 Input Data pada <i>Tab Mesh & Geometry</i>	33
Gambar 4.8 30 Titik Probe dan 9 Probe yang Dipilih untuk Dianalisa	34
Gambar 4.9 Titik – Titik <i>Coupling</i> pada Topografi yang menghubungkan Software TUNAMI dan Flow 3D	35
Gambar 4.10 <i>Data Terrain Model</i> pada Detik 0	36
Gambar 4.11 <i>Data Terrain Model</i> pada Detik 3600	36
Gambar 4.12 Waktu Terhadap Tinggi Genangan pada <i>Data Terrain Model</i> ..	37
Gambar 4.13 <i>Data Surface Model</i> pada Detik 0	37
Gambar 4.14 <i>Data Surface Model</i> pada Detik 1200	37
Gambar 4.15 <i>Data Surface Model</i> pada Detik 3600	38
Gambar 4.16 <i>Data Surface Model</i> pada Detik 5400	38

Gambar 4.17 Waktu Terhadap Tinggi Genangan pada <i>Data Surface Model</i>	38
Gambar 4.18 Titik Probe 1 Kilang Minyak dan Titik Probe 13 Setelah Kilang Minyak	39
Gambar 4.19 Perbandingan Tinggi Genangan Tsunami pada Topografi <i>Data Terrain Model</i> dan <i>Data Surface Model</i> pada Probe 1	40
Gambar 4.20 Perbandingan Tinggi Genangan Tsunami pada Topografi <i>Data Terrain Model</i> dan <i>Data Surface Model</i> pada Probe 13	40
Gambar 4.21 Pengukuran Jarak Genangan Terjauh pada <i>Data Terrain Model</i>	41
Gambar 4.22 Pengukuran Jarak Genangan Terjauh pada <i>Data Surface Model</i>	41
Gambar 4.23 Perbandingan DTM dan DSM pada <i>Cross Section Probe</i> detik 1200.....	42
Gambar 4.24 Perbandingan DTM dan DSM pada <i>Cross Section Probe</i> detik 3600.....	43
Gambar 4.25 Perbandingan DTM dan DSM pada <i>Cross Section Probe</i> detik 5400.....	43

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Perhitungan RMSE, NRMSE dan Persen Error	30
--	----

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Validasi

Lampiran 2. Waktu Terhadap Tinggi Genangan Tsunami pada Probe

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

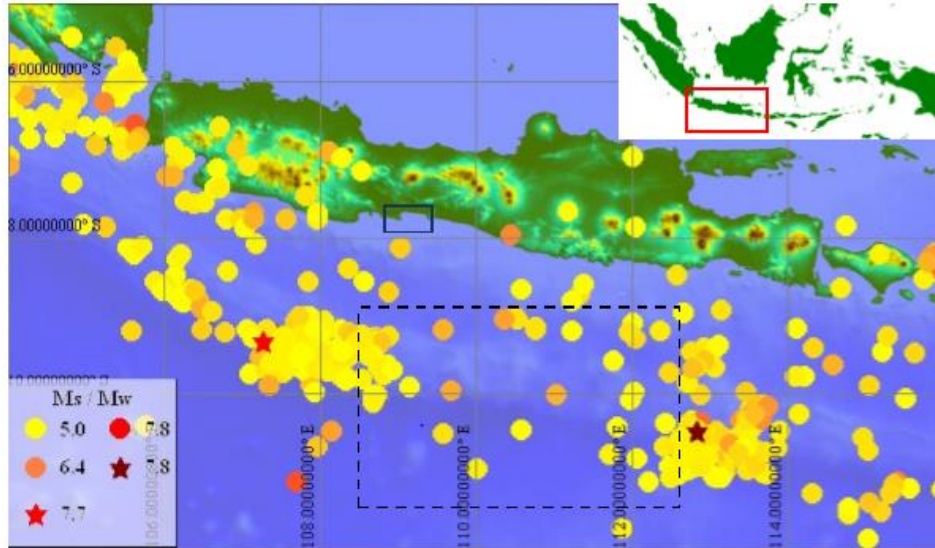
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang terletak di antara dua Samudera yaitu Pasifik dan Hindia dan juga dua Benua yaitu Asia dan Australia. Karena terletak di zona pertemuan lempeng dunia yang secara tektonik kegiatannya didominasi oleh konvergensi lempeng Australia dengan Jawa dan Sumatera (Hall, 2009), hal ini menyebabkan tingginya potensi bencana tsunami yang dihadapi oleh Indonesia. Wilayah yang memiliki potensi besar mengalami terjadinya bencana tsunami adalah di daerah Pulau Jawa Selatan salah satunya adalah di Kota Cilacap. Memiliki penduduk lebih dari 1,7 juta orang (<https://cilacapkab.bps.go.id/>), di dalamnya juga terdapat infrastruktur penting penunjang kehidupan dari masyarakat Kota Cilacap yang jika tidak dilakukan adanya mitigasi dalam bencana tsunami akan banyak mengakibatkan banyak kehilangan aset atau nyawa.

Berdasarkan data geologis, dari pesisir selatan Pulau Jawa berada dalam zona subduksi yang artinya pertemuan antara dua lempeng. Pergeseran dari Lempeng Hindia-Australia dan Lempeng Eurasia yang menjadi zona subduksi Pulau Jawa adalah menjadi penyebab terjadinya banyak gempa besar yang dapat menyebabkan gempa besar berupa tsunami. Dalam data historis, Jumlah gempa yang terjadi akibat bergesernya zona subduksi dalam kurun waktu 1977-2007, terjadi sekitar 420 kejadian dengan magnitude yang lebih besar dari Ms 5.0 dan memiliki hypocenter dangkal kurang lebih 40 km. Dalam peristiwa tersebut, terdapat dua peristiwa signifikan yang terjadi pada tahun 1994 dan 2006. Diikuti tsunami yang cukup besar (ITDB / WLD 2007), menyebabkan kerusakan dan korban di pantai selatan Jawa. Menurut database USGS untuk parameter sumber (USGS 2010), terdapat 20 peristiwa dengan besaran di atas 6.5 Mw dan kedalaman kurang dari 100 km dalam jangka waktu 1978-2008. Dua gempa yang menyebabkan tsunami terjadi di kedalaman kurang dari 20 km. Parameter sumber primer hampir identik, yaitu strike $\sim 278^{\circ}$ - 297° , dip $\sim 10^{\circ}$, dan slip $\sim 90^{\circ}$. (Kongko, W. dan

Schlurmann, T., 2010). Peramalan sumber titik gempa dapat dilihat seperti pada gambar 1.1 berikut,



Gambar 1.1 Gempa (Titik) & Tsunami Berikutnya (Bintang) & Seismic Gap
(Kongko, W., 2011)

Karakteristik gelombang tsunami meliputi energi, magnitudo, kedalaman pusat gempa, mekanisme fokus dan luas rupture area. Gelombang tsunami dapat menerjang wilayah yang berjarak ribuan kilometer dari sumbernya, sehingga ada selisih waktu antara terciptanya gelombang dengan bencana yang ditimbulkannya di pantai. Waktu perambatan dari gelombang tsunami lebih lama dari waktu yang diperlukan oleh gelombang seismik untuk mencapai tempat yang sama (Trianawati, 2008). Dengan kecepatan yang tinggi dan dapat merambat dengan sedikit energi yang berkurang, gelombang tsunami memiliki perilaku yang sangat berbeda dari ombak laut biasa. Periode gelombang tsunami berkisar antara 10-60 menit. Bila tsunami melintasi alur yang sempit dan dangkal, maka tinggi gelombang tsunami akan mengalami perbesaran yang merupakan fungsi dari perubahan kedalaman dan lebar alur yang dilewati. Pada daerah yang dilewati dan tergenang, berpotensi mengalami kerusakan.

Rangkaian peristiwa gempa bumi bawah laut yang terus menerus terjadi di pantai selatan Jawa dan sulitnya memprediksi kapan terjadinya gempa, masih

menjadi mimpi buruk dan bom waktu yang terus menghantui wilayah pantai selatan Jawa, khususnya Kota Cilacap yang suatu saat dapat meledak tanpa bisa kita prediksi sebelumnya. Maka dari itu, diperlukan analisis mengenai *run-up* dan genangan yang terjadi untuk mengetahui daerah yang tergenang akibat tsunami karena pergeseran lempeng Hindia-Australia dan Lempeng Eurasia. Pemodelan tsunami dilakukan untuk mengetahui waktu dan jauh rambatan tsunami yang diprediksikan terjadi di Kota Cilacap menggunakan bantuan dari *software* Flow 3D. Pemodelan ini menggunakan dua data topografi yang akan dibandingkan yaitu *Data Terrain Model* (DTM) dan *Data Surface Model* (DSM). Harapannya, pemodelan ini dapat menjadi acuan untuk perencanaan mitigasi kedepannya bagi pemerintah.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah

1. Berapa jarak dan tinggi genangan yang diakibatkan oleh *run up* tsunami yang terjadi di Kota Cilacap pada kilang minyak?
2. Berapa lama gelombang tsunami mencapai pantai kota cilacap?
3. Bagaimana perbandingan simulasi menggunakan skenario topografi DTM dan DSM?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah

1. Mengetahui jarak dan tinggi genangan yang diakibatkan oleh *run up* tsunami yang terjadi di Kota Cilacap pada kilang minyak.
2. Mengetahui berapa lama gelombang tsunami mencapai pantai kota cilacap.
3. Mengetahui perbandingan simulasi menggunakan topografi DTM dan DSM.

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat setelah dilakukan penelitian ini adalah sebagai bahasan referensi dan juga sebagai strategi yang efektif baik untuk masyarakat maupun pemerintahan dalam upaya mitigasi bencana tsunami yang terjadi di Kota Cilacap, Jawa Tengah, Indonesia dikemudian hari.

1.5. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah

1. Lokasi konsentrasi model terdapat di Kota Cilacap, Jawa tengah khususnya refinery unit IV milik PT. Pertamina Persero
2. Simulasi tsunami menggunakan *software* Flow 3D
3. Simulasi menggunakan skenario jamak dengan data topografi *Data Terrain Model* (DTM) dan *Data Surface Model* (DSM)
4. Tsunami yang di modelkan adalah data *coupling* dari *software* TUNAMI
5. Data didapatkan dari BPPT Yogyakarta
6. Mitigasi pada simulasi diabaikan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka

Kata “tsunami” (diucapkan su-na-mi) merupakan kata dalam bahasa Jepang yang ditulis menggunakan dua karakter yaitu tsu yang artinya pelabuhan dan nami yang berarti gelombang. Keduanya bisa diartikan sebagai “gelombang besar di pelabuhan”. Sehingga dalam istilah yang di sederhanakan, tsunami adalah serangkaian gelombang laut yang pada umumnya paling sering diakibatkan oleh gerakan dahsyat di dasar laut. Dalam beberapa hal, Tsunami menyerupai riak air yang melebar dari tempat dilemparkannya batu kedalam air, namun tsunami memiliki skala yang luar biasa besarnya (Prasetya, 2006).

Menurut Rusli, 2005. Energi yang dikandung gelombang tsunami praktis tidak mengalami reman, sehingga mampu merambat puluhan ribu kilometer di lautan terbuka, dimana seluruh massa air bergerak bersama dari permukaan sampai dekat ke dasar laut dan tidak terpengaruh oleh gelombang lokal apapun, seperti yang disebabkan oleh angin atau pasang surut, yang dijumpai dalam perjalanannya. Energi tersebut adalah sebanding dengan kuadrat tinggi (amplitudo) gelombang dan panjang gelombang. Tinggi n gelombang di lautan terbuka adalah relatif kecil, pada umumnya kurang dari 1 m, sehingga tidak dapat dirasakan oleh kapal yang sedang berlayar di atasnya atau terdeteksi oleh pengamatan melalui satelit. Dengan dicapainya lautan dangkal menjelang garis pantai, kecepatan rambat melemah oleh tahanan dari dasar laut, sehingga panjang gelombang juga berkurang. Akibat berkurangnya kecepatan rambat panjang gelombang, maka dari hukum kekekalan massa dan energi, tinggi gelombang akan mencuat ke atas. Tinggi air yang mencuat inidisebut *run-up* dan kalau terjadi pembesaran (amplifikasi) oleh geometri teluk atau muara sungai, maka dapat terjadi dinding air yang hampir vertikal yang disebut *water bore*. Air yang menuat tinggi inilah yang menenggelamkan daerah pantai yang dilanda tsunami.

Menurut BMG (2006), magnitudo tsunami yang terjadi di Indonesia berkisar antara 1,5-4,5 skala Imamura, dengan tinggi gelombang tsunami maksimum yang mencapai pantai berkisar antara 4-24 meter dan jangkauan gelombang ke daratan berkisar antara 50 sampai 200 meter dari garis pantai. Gempa bumi yang berpotensi menyebabkan tsunami memiliki kedalaman pusat gempa kurang dari 60 km, magnitudo gempa lebih besar dari 6.0 skala richter.

Dalam Kongko, W., 2014 menyebutkan, pada tanggal 17 Juli 2006, sebuah gempa yang signifikan dengan besaran Mw 7,8 terjadi di lepas pantai dan diikuti oleh tsunami yang menyerang garis pantai Jawa Selatan, yang menewaskan lebih dari 600 orang. Pantai Cilacap juga hancur akibat tsunami yang memiliki ketinggian maksimum mencapai sekitar 15-20 m di pulau Permisian Nusakambangan, 20 m sebelah barat daya Cilacap dan sekitar 6 m di tengah Teluk Penyu (Kongko, W., 2006). Di kabupaten ini, bencana tsunami menewaskan lebih dari 150 orang.

Aisyah (2015) menyebutkan, hasil penemuan oleh Rindarjono bahwa selain penuaan dan pemadatan, pemukiman kumuh juga terjadi karena genangan. Pemukiman kumuh yang disebabkan oleh genangan biasanya terjadi di daerah pesisir. Hal yang sama seperti penelitian Rindarjono, sebab utama pemukiman kumuh yang terjadi di pesisir Kecamatan Sayung adalah abrasi dan genangan (banjir genangan), pemadatan yang terjadi di pesisir Kecamatan Sayung disebabkan lahan disini banyak yang tergenang akibat genangan sehingga pembangunan pemukiman mencari tempat yang lebih tinggi dan hal ini menyebabkan kesan padat untuk tempat tertentu.

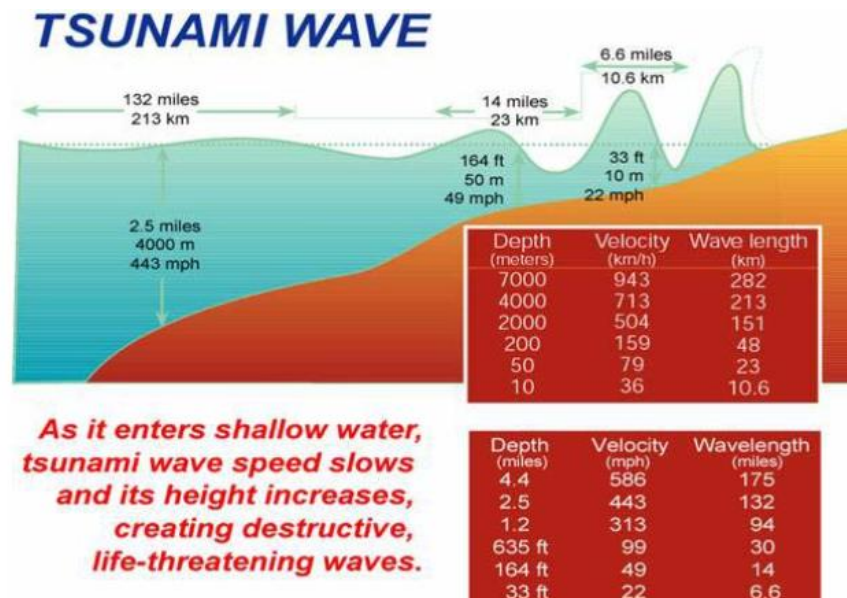
Jokowinarno (2011) menyebutkan, minimal terdapat enam langkah yang bisa diupayakan dalam melakukan mitigasi bencana tsunami. Kebijakan pertama, adalah dengan melakukan upaya perlindungan kehidupan, infrastruktur dan lingkungan pesisir. Kebijakan ke dua, meningkatkan pemahaman dan peranserta masyarakat pesisir terhadap kegiatan mitigasi bencana gelombang pasang. Kebijakan ke tiga, meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat terhadap

bencana. Kebijakan ke empat, meningkatkan koordinasi dan kapasitas kelembagaan mitigasi bencana. Kebijakan kelima, menyusun payung hukum yang efektif dalam upaya mewujudkan upaya-upaya mitigasi bencana. Kebijakan ke enam, mendorong keberlanjutan aktivitas ekonomi dan peningkatan kesejahteraan masyarakat pesisir.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Pengertian Tsunami

Tsunami merupakan serangkaian gelombang laut yang disebabkan terutama oleh gempa bumi /dasar laut. Gelombang tsunami dapat merambat kesegala arah dengan kecepatan 500-1000 km per jam. Ketinggian gelombang di laut dalam hanya sekitar 1 meter. Dengan demikian, laju gelombang tidak terasa oleh kapal yang sedang berada di tengah laut. Ketika mendekati pantai, kecepatan gelombang tsunami menurun hingga sekitar 30 km per jam, namun ketinggiannya sudah meningkat hingga mencapai puluhan meter.



Gambar 2.1. Hubungan Kecepatan dan Amplitudo Gelombang Tsunami di Tengah Lautan dan Setelah Sampai di Pantai (BMG, 2006)

Gelombang tsunami memiliki tinggi gelombang relatif kecil terhadap panjang gelombang panjang mereka, sehingga biasanya tanpa disadari di laut. Ketika bepergian lereng ke garis pantai, gelombang didorong ke atas. Seperti gelombang angin, kecepatan bagian bawah gelombang diperlambat oleh gesekan. Hal ini menyebabkan panjang gelombang menurun dan gelombang menjadi tidak stabil. Faktor-faktor ini dapat membuat gelombang besar dan mematikan. Perbandingan kecepatan dan amplitude dari gelombang tsunami bisa dilihat pada gambar 2.1 diatas.

Tsunami juga sering disangka sebagai gelombang air pasang. Ini karena saat mencapai daratan, gelombang ini memang lebih menyerupai air pasang yang tinggi daripada menyerupai ombak biasa yang mencapai pantai secara alami oleh tiupan angin. Namun sebenarnya gelombang tsunami sama sekali tidak berkaitan dengan peristiwa pasang surut air laut. Karena itu untuk menghindari pemahaman yang salah, para ahli oseanografi sering menggunakan istilah *gelombang laut seismik* (*seismic sea wave*) untuk menyebut tsunami, yang secara ilmiah lebih akurat.

Tsunami adalah gelombang panjang yang merambat dari tempat terjadinya dilautan terbuka dengan kecepatan rambat sangat tinggi ke segala penjuru menuju perairan dangkal menjelang garis pantai. Kecepatan rambat gelombang tsunami dapat dihitung menggunakan rumus (2.1) berikut:

$$v = \sqrt{gh} \quad (2.1)$$

Dimana v adalah kecepatan rambat gelombang tsunami, g adalah percepatan gravitasi dan h adalah kedalaman lautan. Sehingga panjang gelombang tsunami dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.2) seperti berikut;

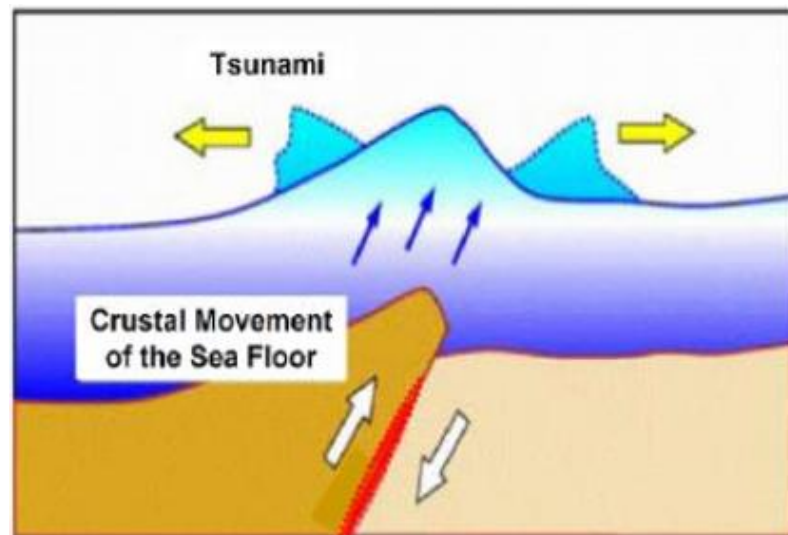
$$\lambda = v T \quad (2.2)$$

Dimana λ adalah panjang gelombang (jarak antara 2 puncak), v adalah kecepatan rambat gelombang dan T adalah periode gelombang (waktu yang ditempuh diantara 2 puncak) yang nilainya tetap untuk suatu tsunami tertentu.

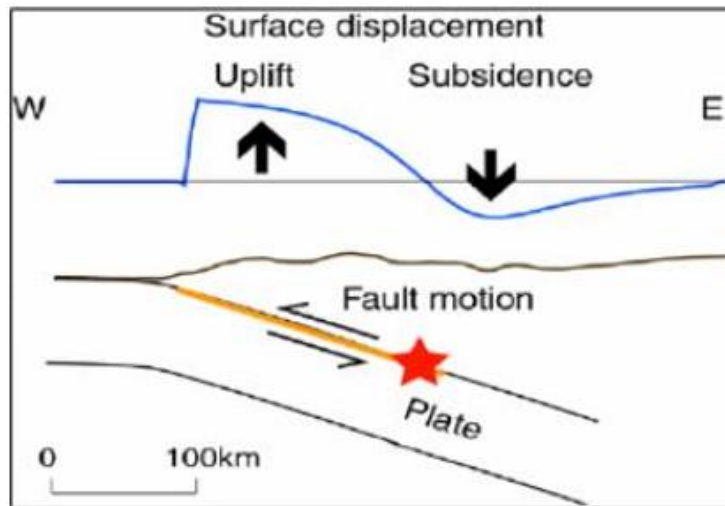
2.2.2. Sumber Pembangkit Tsunami

Sumber area tsunami diasumsikan mengikuti bidang deformasi subduksi di dasar laut yang diaplikasikan terhadap model numerik tsunami sebagai nilai rekaman dalam perambatan gelombang tsunami.

Karakteristik dari gempa bumi yang berpotensi menyebabkan tsunami adalah gempa bumi dengan deformasi dasar laut ke arah vertikal (sesar naik atau sesar turun) seperti pada gambar 2.2. Dengan pergerakan arah vertikal, maka dasar lantai samudera akan naik atau turun sehingga menaikkan dan menurunkan air laut dalam skala yang besar.



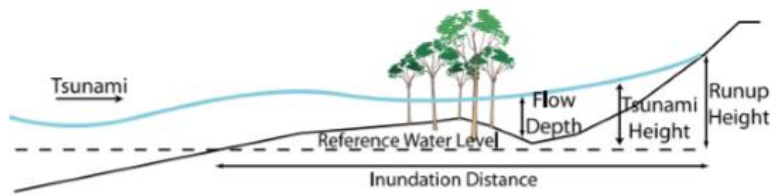
Gambar 2.2. Proses Deformasi Dasar Laut Arah Vertikal (Sesar Naik atau Turun) Berdasarkan Teori Elastisitas Okada (JMA, 2007)



Gambar 2.3. Pergerakan Sumber Tsunami Dasar Laut Mengikuti Deformasi Sesar (Satake, 2006)

2.2.3. Istilah Dalam Tsunami

Pada pemodelan, terdapat beberapa istilah penting yang bersangkutan dengan gelombang tsunami. Berikut adalah istilah-istilah penting yang juga dijelaskan pada gambar 2.3.



Gambar 2.4. Ilustrasi Istilah yang Digunakan dalam Pembahasan Tsunami (UNESCO, 2014)

- *Run-up Height* adalah tinggi tsunami yang dicapai pada titik genangan maksimum ke daratan dan rata tinggi muka air laut saat terjadinya tsunami
- *Inundasi* (genangan) adalah jarak horizontal yang dijangkau oleh gelombang tsunami dari garis pantai. Semakin landai pantai maka jarak jangkauan genangan semakin jauh dan panjang dari garis pantai.

- *Flow Depth* adalah kedalaman aliran tsunami dari atas permukaan tanah, setiap jangkauan *flow depth* dari jarak genangan berbeda-beda tergantung topografi permukaan pantai tersebut.
- *Tsunami Height* adalah jumlah dari *flow depth* dan tinggi muka tanah, pada pengukuran diukur di atas garis muka air laut rata-rata.

2.2.4. *Run-up* Tsunami

Ketika energi kinetik dari tsunami habis dalam perjalanan sampai ke daratan, maka energi berubah menjadi energi potensial yang disebut *Run-up*. Puncak dari *Run-up* tsunami terjadi ketika gelombang makin mendekati wilayah pesisir. *Run-up* adalah pengukuran ketinggian air darat diamati di atas tingkat permukaan laut. Daerah genangan dan daerah yang terkena hempasan akan dipengaruhi oleh banyak variabel dari *Run-up* tsunami. Menurut Triatmadja (2010) *Run-up* tsunami sangat tergantung pada kondisi dan karakteristik gelombang, termasuk beberapa variabel berikut:

1. Kemiringan lereng (daratan). Semakin curam daratan semakin pendek yang ditempuh oleh tsunami.
2. Banyaknya rintangan. Rintangan akan mengurangi kekuatan dari gelombang tsunami. Rintangan yang dimaksud adalah seperti pohon, rumah, serta infrastuktur.
3. Kekasaran pantai. Pantai yang tanpa penghalang . kekasaran permukaan pantai akan mempengaruhi *Run-up* tsunami.
4. Panjang tsunami. Tsunami yang pendek tidak dapat bergerak menuju daratan.
5. Tinggi tsunami. Semakin tinggi tsunami, kemungkinan besar akan masuk kedaratan.

Berikut solusi analitis untuk aproksimasi nonlinear besarnya tinggi *Run-up* untuk *Solitary Wave* dalam persamaan gelombang Tsunami.

$$\frac{Rs}{ho} = 2.831 \sqrt{\cot \beta} \left(\frac{H}{ho} \right)^{5/4} \quad (2.3)$$

Dengan:

Rs = maksimum *run up*

Ho = kedalaman air normal

H = tinggi gelombang

β = sudut kemiringan *shore line*

2.2.5. Persamaan Navier Stokes

Air memiliki kerapatan massa yang konstan. Sehingga dapat digolongkan sebagai fluida tak mampat. Pada koordinat Cartesius, persamaan kontinuitas dan momentum dalam aliran air atau yang disebut dengan persamaan Navier-Stokes dapat dijabarkan seperti persamaan 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, berikut,

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2.4)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial uu}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial uw}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + g_x \quad (2.5)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial vu}{\partial x} + \frac{\partial vv}{\partial y} + \frac{\partial vw}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + g_y \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial wu}{\partial x} + \frac{\partial wv}{\partial y} + \frac{\partial ww}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + g_z \quad (2.7)$$

Dengan:

t = waktu

x, y, z = sumbu koordinat arah longitudinal, transversal, dan vertikal

u, v, w = kecepatan sesaat aliran arah x, y , dan z

p = tekanan

g_x, g_y, g_z = percepatan gravitasi arah x, y , dan z

τ_{ij} = tegangan geser (merupakan fungsi kecepatan dan kekentalan air) arah j yang bekerja pada bidang tegak lurus sumbu i

Perhitungan pada aliran turbulen diperlukan persamaan kontinuitas dan momentum yang berlaku untuk nilai rata-rata (terhadap waktu: *time-averaged values*). Hubungan antara nilai sesaat dan nilai rata-rata, misalnya untuk kecepatan longitudinal, dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$u = \bar{u} + u' \quad (2.8)$$

Keterangan :

\bar{u} = komponen rata-rata

u' = fluktuasi kecepatan

Cara pemisahan seperti persamaan 2.8, dikenal dengan cara Reynolds. Persamaan Reynolds mengganti setiap nilai sesaat pada persamaan Navier-Stokes, dengan manipulasi matematik dapat menghasilkan persamaan kontinuitas dan momentum untuk nilai rata – rata seperti pada persamaan 2.9 berikut,

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = 0 \quad (2.9)$$

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}\bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{u}\bar{w}}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{\tau}_{xx}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{\tau}_{yx}}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{\tau}_{zx}}{\partial z} + g_x \quad (2.10)$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{v}\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}\bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}\bar{w}}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{\tau}_{xy}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{\tau}_{yy}}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{\tau}_{zy}}{\partial z} + g_y \quad (2.11)$$

$$\frac{\partial \bar{w}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{w}\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{w}\bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}\bar{w}}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{\tau}_{xz}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{\tau}_{yz}}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{\tau}_{zz}}{\partial z} + g_z \quad (2.12)$$

2.2.6. Jarak Genangan

Wilayah genangan merupakan suatu area yang terbanjiri atau tergenang air yang dibawa oleh gelombang tsunami. Salah satu pengukuran dari genangan dapat dilakukan dengan cara menghitung jarak antara vegetasi hidup dan yang mati.

Jarak maksimum gelombang tsunami menuju daratan (Pignatelli, 2009) dapat dihitung secara empiris dengan rumus seperti persamaan 2.13.

$$x_{max} = (H_t)^{1.33} n^2 k \cos \beta_1 \quad (2.13)$$

Dimana:

x_{max}	= Batas maksimum ke darat (genangan) dalam m
H_t	= Tinggi tsunami diukur dari mean sea level
k	= Konstanta = 0.06
n	= Konstanta <i>Manning</i> (konstanta kekasaran)
β_1	= Sudut kemiringan permukaan tanah

Daerah yang sangat landau seperti dataran, rawa, atau padang rumput memiliki $n = 0.015$, daerah yang tertutup bangunan memiliki $n = 0.03$, sedangkan area pepohonan memiliki $n = 0.07$.

2.2.7. Batimetri

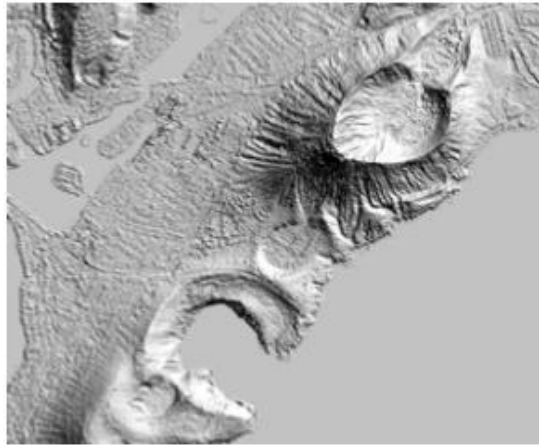
Peta Batimetri diperlukan untuk mengetahui keadaan kedalaman laut di sekitar lokasi pekerjaan. Peta ini digunakan untuk mengetahui kondisi gelombang di lokasi pekerjaan. Sebuah peta batimetri umumnya menampilkan relief lantai atau dataran dengan garis-garis kontur (*contour lines*) yang disebut kontur kedalaman (*depth contours* atau *isobath*), dan dapat memiliki informasi tambahan berupa informasi navigasi permukaan (Triatmodjo 1999).

2.2.8. Digital Surface Model (DSM)

DSM adalah model topografi permukaan bumi yang dapat dimanipulasi dengan menggunakan komputer. DSM terdiri dari pengukuran elevasi yang diletakkan di grid. Pengukuran ini berasal dari sinyal balik yang diterima oleh dua antena radar yang dipasang pada pesawat Intermap. Sinyal memantul dari permukaan pertama yang terpapar, membuat DSM merepresentasikan objek. Termasuk bangunan, vegetasi, dan jalan, serta fitur medan alami.

Fitur utama dari DSM adalah menyediakan bingkai referensi yang benar secara geometris, dimana lapisan data lainnya dapat ditutup. Sebagai contoh, DSM dapat digunakan untuk meningkatkan kesadaran

situasional pilot, membuat *fly-through* 3D, mendukung aplikasi layanan berbasis lokasi, menambah lingkungan simulasi, dan melakukan analisis *viewshed*². Ini juga dapat digunakan sebagai sarana yang relatif murah untuk memastikan bahwa produk kartografi, seperti peta garis topografi atau bahkan peta jalan, memiliki tingkat akurasi yang jauh lebih tinggi daripada yang seharusnya. Gambar 2.4 adalah contoh DSM dari pantai tenggara Oahu, Hawaii.



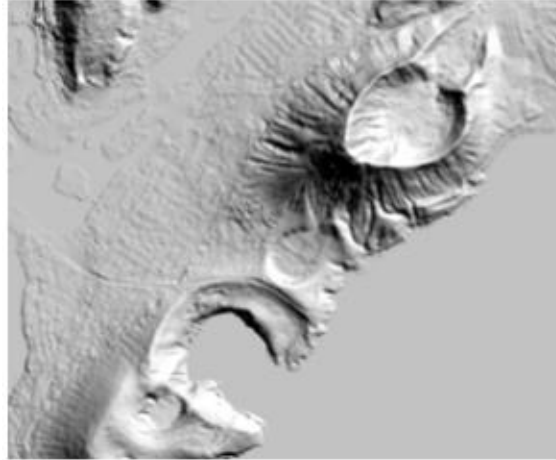
Gambar 2.5. Contoh DSM dengan Relief Berbayang Menunjukkan Teluk Hanauma dan Kawah Koko (INTERMAP, 2007)

2.2.9. *Digital Terrain Model (DTM)*

DTM adalah model topografi tanah gundul yang bisa dimanipulasi dengan menggunakan komputer. Dalam DTM, vegetasi, bangunan, dan fitur budaya lainnya dihapus secara digital, sehingga hanya memiliki medan yang mendasarinya. Hal ini dicapai dengan menggunakan perangkat lunak yang dimiliki INTERMAP, yang menghasilkan elevasi medan berdasarkan pengukuran tanah kosong yang terdapat dalam data radar asli serta meninjau dan mengedit setiap dasar tanah secara manual.

Fitur utama DTM adalah memungkinkan pengguna untuk menyimpulkan karakteristik medan yang mungkin tersembunyi di DSM. Misalnya, DTM, ditambah dengan alat analisis permukaan, mendukung aplikasi seperti pengembangan peta topografi. Ini juga merupakan

komponen berharga dalam analisis yang melibatkan berbagai karakteristik medan, seperti profil, crosssection, line-of-sight, aspect, dan slope. DTM dapat digunakan untuk mendukung analisis dataran banjir, aplikasi pertanian, dan aplikasi kendaraan cerdas. Pada gambar 2.5, bisa dilihat bagaimana bangunan pada gambar 2.4 tidak lagi terlihat.



Gambar 2.6. Contoh DTM dengan Relief Berbayang Menunjukkan Teluk Hanauma dan Kawah Koko (INTERMAP, 2007)

2.2.10. Root Square Mean Error (RMSE)

Root Square Mean Error adalah ukuran yang sering digunakan untuk mengukur perbedaan antara nilai prediksi dari suatu model dengan nilai dari observasi nyata. Untuk perhitungan RMSE dapat dilakukan menggunakan rumus seperti persamaan 2.14

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (\hat{y}_t - y_t)^2}{n}}. \quad (2.14)$$

\hat{y}_i = Data hasil observasi nyata

y_i = Data hasil dari pemodelan

n = Jumlah data

2.2.11. *Normalized Root Square Mean Error* (NRMSE)

Normalized Root Square Mean Error merupakan perbandingan antara model dengan skala yang berbeda. Dalam penggunaannya dalam penelitian ini adalah untuk membandingkan model Flow 3D dan data nyata sebagai validasi *software*. Rumus dari NRMSE adalah seperti persamaan 2.11

$$\text{NRMSE} = \frac{\text{RMSE}}{\bar{y}}. \quad (2.15)$$

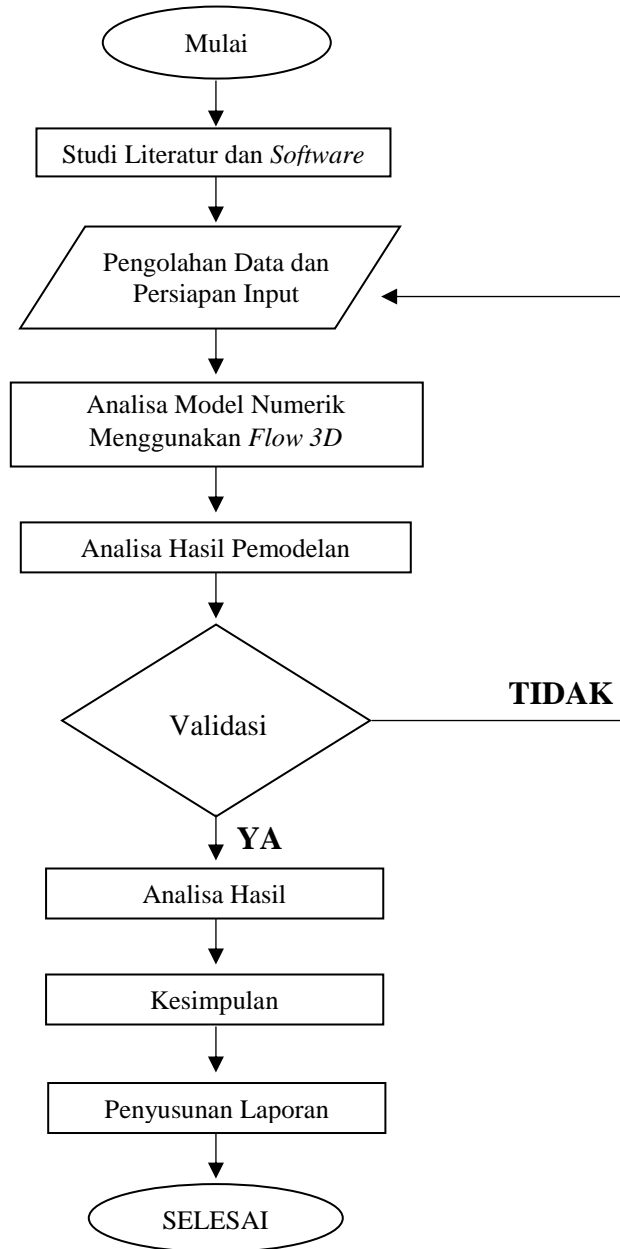
\bar{y} = Data hasil observasi nyata

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Alur pengerjaan tugas akhir ini adalah seperti pada gambar 3.1 berikut,



Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

3.2 Penjelasan Diagram Alir

Penjelasan berikut digunakan untuk memberikan detail yang menunjukkan proses penelitian yang dilakukan. Berikut penjelasan dari diagram alir :

1. Studi Literatur dan *Software*

Pada tahap ini studi literatur dilakukan dengan cara mempelajari jurnal ilmiah, buku, maupun penelitian sebelumnya yang dimaksudkan untuk mencari lebih banyak sumber pengetahuan, dalam hal ini mengenai tsunami, *run-up* tsunami, dan genangan tsunami. Jurnal-jurnal yang digunakan untuk dipelajari sebagian telah diberikan oleh bapak Widjo Kongko dan literatur lainnya didapatkan dengan mencari jurnal melalui internet dan perpustakaan fakultas teknik kelautan.

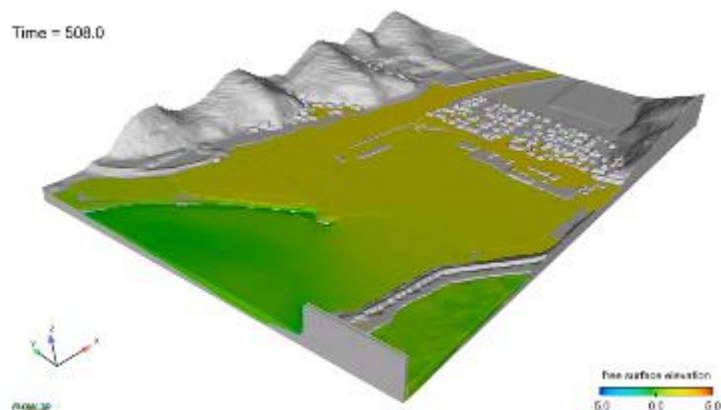
Software yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan *software* Flow 3D. FLOW-3D adalah alat pemodelan yang memberi para penggunanya wawasan tentang proses aliran fisik. Dengan kemampuan khusus untuk memperkirakan arus permukaan bebas secara akurat, FLOW-3D adalah perangkat lunak dinamika fluida komputasi ideal (CFD) yang dapat digunakan dalam tahap perancangan dan juga dalam meningkatkan proses produksi. Dalam hal ini, *software* Flow 3D digunakan untuk mengetahui *run-up* dari tsunami yang diakibatkan oleh gempa bawah laut disekitar selatan pulau Jawa dan mengenai Kota Cilacap.

2. Pengolahan Data dan Persiapan Input

Dalam penelitian ini, data yang dibutuhkan untuk persiapan input adalah data topografi Kota Cilacap, batimetri dasar laut, arah kecepatan serta elevasi dari tsunami. Data batimetri yang digunakan akan diambil dari GEBCO, Global Mapper untuk mendapatkan data topografi yang berupa DSM dan DTM sebagai dua skenario yang akan dilaksanakan. Setelah data didapatkan, pengolahan data disesuaikan dengan format input data yang diinginkan oleh *software* Flow 3D.

3. Analisa Model Numerik Hasil *Software* Flow 3D

Pada analisa model numerik, hasil dari model adalah menggunakan input data yang di *coupling* dari *software* TUNAMI dan Flow 3D. Data dari *software* TUNAMI menghasilkan data waktu, elevasi (Z), Flux M dan Flux N yang data input tersebut dimasukkan ke dalam Flow 3D untuk mendapatkan hasil pemodelan tsunami, jarak dan tinggi genangan, mengetahui berapa lama gelombang tsunami mencapai pantai dan perbandingan topografi DTM dan DSM yang diakibatkan oleh tsunami pada wilayah Kota Cilacap. Penelitian ini menggunakan *software* Flow 3D untuk memproses data. Banyak program komputer dapat memecahkan persamaan diferensial parsial yang digabungkan yang menggambarkan dinamika fluida, tetapi permukaan bebas menambah kompleksitas perhitungan karena batas-batas dalam domain komputasi selalu berubah-ubah. Selain itu, ada geometri kompleks yang terdiri dari massa tanah dan badan air yang membutuhkan algoritma interaksi cairan-padat yang akurat dalam pemecahan masalah. FLOW-3D sangat membantu dalam skenario seperti itu, berkat algoritme TruVOF untuk analisis permukaan bebas dan teknik FAVORTM untuk batas padat cairan yang terpasang dalam pemecahan masalah. (www.flow3d.com). Dapat dilihat hasil simulasi menggunakan Flow 3D seperti pada gambar 3.2 berikut,



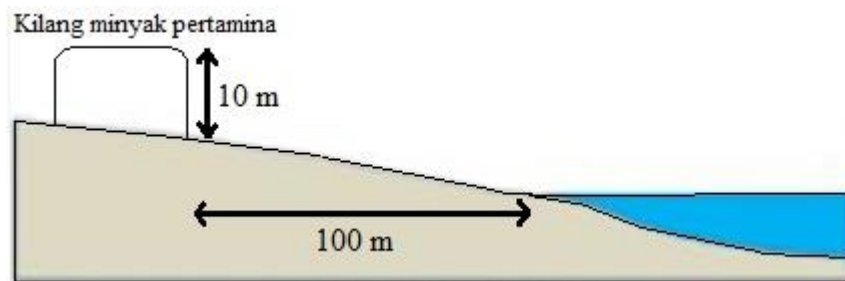
**Gambar 3.2. Simulasi Model Tsunami pada Port of Imwon Menggunakan Flow 3D
(flow3d.com)**

FLOW-3D juga dapat menghitung secara akurat arus vortik akibat gelombang tsunami di pusat pelabuhan. Mempelajari vortisitas ini dapat membantu dalam memahami dampak tsunami tergantung pada ukuran dan bentuk pelabuhan dan tata letak pemecah gelombang. FlowSight pasca-prosesor FLOW-3D telah digunakan untuk menghitung kekuatan inti vortex dengan melakukan analisis nilai Eigen.

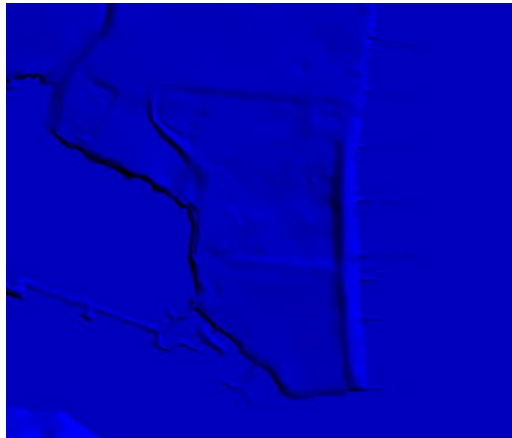
Pada tahap ini, pemodelan dilakukan dengan dua data topografi yang berbeda. Berikut adalah rencana pemodelan menggunakan data topografi yang akan dikerjakan dalam penelitian ini. Pada gambar 3.3 adalah *cross section* dari *Data Terrain Model*. Pada gambar 3.4 adalah *cross section* dari *Data Surface Model*. Gambar 3.5 dan 3.6 merupakan data topografi yang akan digunakan serta gambar 3.7 yang merupakan spesifikasi kilang minyak yang menjadi daerah konsentrasi dari penelitian ini.



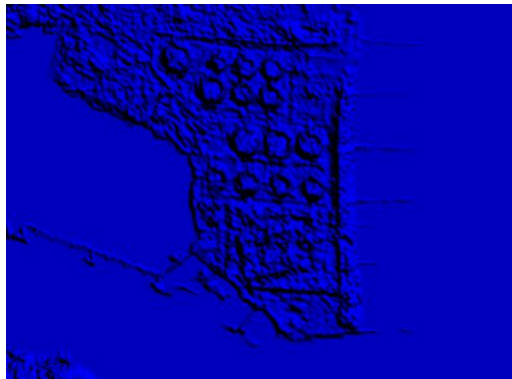
Gambar 3.3. Pantai pada Topografi DTM



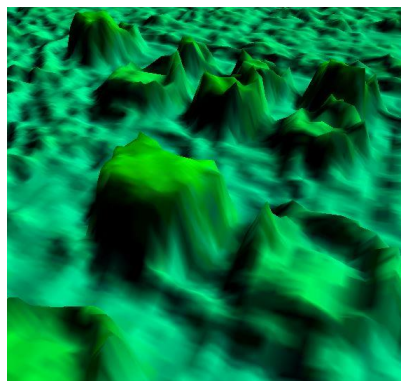
Gambar 3.4. Pantai pada Topografi DSM



Gambar 3.5. Topografi DTM Tampak Atas (2D)



Gambar 3.6. Topografi DSM Tampak Atas (2D)

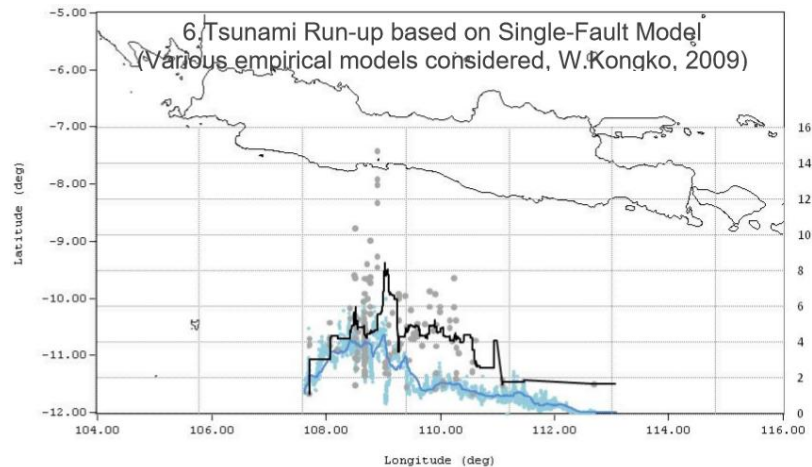


Gambar 3.7 Kilang Minyak pada Topografi DSM dengan Diameter 10 m dan Tinggi 10 m Dilihat dari *Software* Global Mapper

4. Analisa Hasil Pemodelan

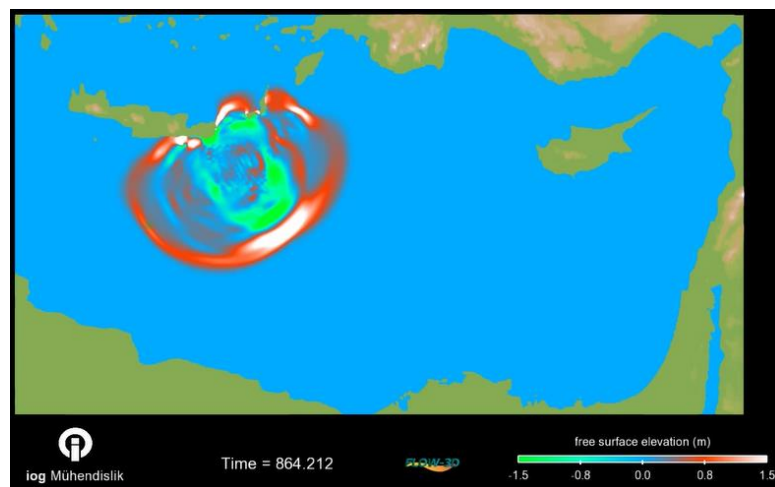
Pada analisa hasil pemodelan, dapat dipelajari bahwa apakah hasil yang telah dibuat menggunakan *software* telah sesuai dengan rumusan

masalah yang telah dibuat, bagaimana hasil dari *run-up* tsunami yang dihasilkan, mengetahui bagaimana jarak dan tinggi genangan akibat tsunami yang telah di modelkan pada *software* yang digunakan. Gambar 3.8 adalah hasil yang diharapkan dalam pemodelan, sehingga bisa didapatkan analisa hasil pemodelan,



Gambar 3.8. Model *Run-Up* (Kongko, W dan Schlurmann, T., 2010)

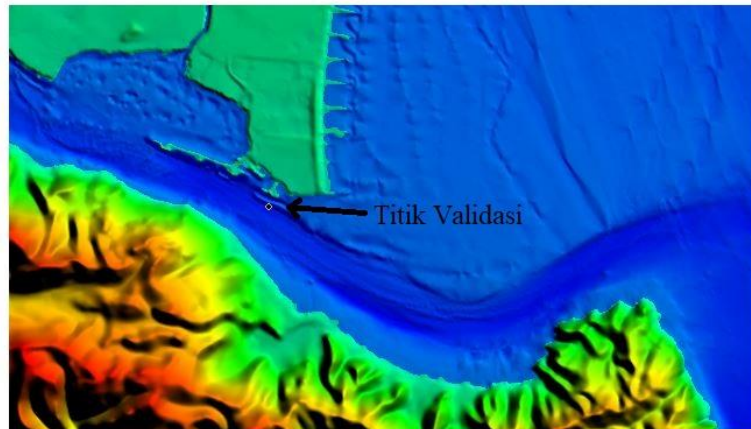
Pada *software* Flow 3D, hasil dari gelombang *run-up* tsunami diharapkan bisa memperlihatkan sebaran dari gelombang yang terjadi di Kota Cilacap. Diharapkan pada pemodelan bisa menghasilkan keluaran seperti pada gambar 3.9 berikut,



Gambar 3.9. Tsunami Menggunakan Flow 3D (Youtube.com)

5. Validasi

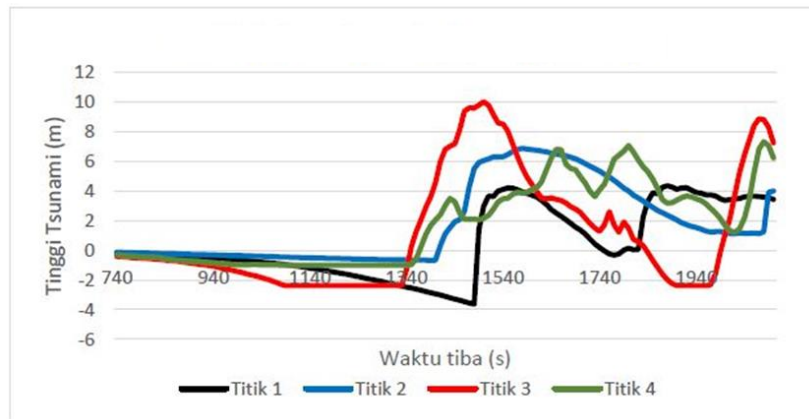
Validasi pada penelitian ini ditujukan untuk mengetahui apakah hasil pemodelan yang dibuat sudah mengikuti aturan, sesuai hasil yang diinginkan dan bisa dibandingkan dengan percobaan atau pemodelan yang telah dilakukan sebelumnya. Dalam penelitian ini, validasi dilakukan dengan *coupling software* TUNAMI dan Flow 3D menggunakan data real pada tsunami jawa pada tahun 2006, yang didapatkan BPPT Yogyakarta dengan cara peninjauan lapangan pasca tsunami, foto maupun video saat tsunami berlangsung dan wawancara dengan korban selamat. Dari data *coupling* yang dilaksanakan akan diketahui besaran *run up* tsunami dan perbandingannya dengan data nyata. Flow 3D akan dianggap valid dengan persen error dibawah 30%. Titik validasi dapat dilihat seperti pada gambar 3.10 berikut,



Gambar 3.10. Titik Validasi

6. Analisa Hasil

Pada tahap analisa hasil, penggunaan data hipotetik yang diberikan BPPT Yogyakarta bisa di proses dan menghasilkan jawaban dari ketinggian gelombang tsunami yang terjadi, berapa waktu genangan, dan berapa lama gelombang tsunami dapat mencapai pantai di kota cilacap. Diharapkan bisa mendapatkan data grafik seperti gambar 3.11.



Gambar 3.11 Waktu Tiba Terhadap Tinggi Tsunami

7. Kesimpulan

Pada tahap kesimpulan, bisa dikatakan bahwa telah selesai penelitian yang telah dilakukan, dengan tercapai dan terjawabnya tujuan dan rumusan masalah dalam penelitian. Dalam kesimpulan, capaian capaian serta hal yang tidak tercapai diharapkan mampu untuk menjadikan penelitian kedepan akan lebih baik. Ringkasan hasil dan pengerjaan dari awal sampai akhir penelitian dijabarkan sehingga menghasilkan pemahaman secara menyeluruh.

8. Penyusunan Laporan

Pada tahap ini dilakukan penulisan apa saja yang telah dilakukan dari awal penelitian hingga kesimpulan yang didapat dari penelitian ini.

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

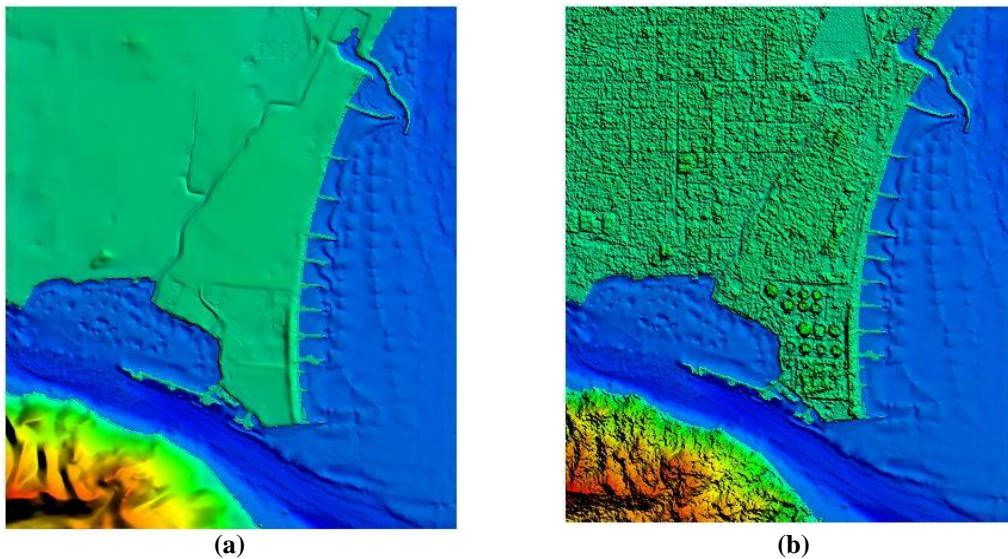
4.1. Daerah Penelitian

Daerah penelitian yang digunakan dalam penelitian ini berada di wilayah Kota Cilacap. Utara dari Kota Cilacap berbatasan langsung dengan Kabupaten Banyumas, Kabupaten Brebes dan Kabupaten Kuningan. Timur Kota cilacap berbatasan langsung dengan Kabupaten Kebumen. Barat dari Kota cilacap berbatasan dengan Kabupaten Ciamis Jawa Barat. Kota Cilacap terletak diantara $108^{\circ} 4-30 - 109^{\circ} 30' 30''$ garis Bujur Timur dan $7^{\circ} 30' - 7^{\circ} 45' 20''$ garis Lintang Selatan. Memiliki pantai yang dijadikan destinasi wisatawan dan juga memiliki pelabuhan sebagai sarana prasana turis ataupun masyarakat Kota Cilacap untuk berdagang hasil laut.

Kota Cilacap merupakan salah satu kota yang berbatasan langsung dengan Samudera Hindia. Kondisi tersebut menyebabkan gelombang yang tidak bersahabat yang juga sebagai salah satu ancaman bencana bagi masyarakat Kota Cilacap. Pada Kota Cilacap sendiri terdapat fasilitas perdagangan dan juga sebagai tempat penyimpanan minyak terbesar di Indonesia yang terdapat di daerah selatan dari Kota Cilacap. Hal tersebut mengingatkan pada perlu adanya tindakan preventif untuk mempersiapkan masyarakat agar mampu untuk ikut serta dalam mengambil tindakan tanggap bencana guna meminimalisir adanya kerusakan dan kerugian ketika bencana terjadi. Pada tahun 1995, terjadi bencana tsunami di Samudera Hindia yang mengakibatkan dampak pada seluruh pantai selatan di pulau Jawa. Untuk itu, diperlukan adanya upaya untuk memprediksi adanya tsunami dan juga pemberian wawasan tentang kemungkinan kerugian yang akan dialami.

4.2. Data Topografi dan Batimetri

Pada pemodelan menggunakan Flow 3D diperlukan data inputan berupa batimetri dan topografi dari wilayah yang menjadi objek dari tugas akhir ini, yaitu wilayah Kota Cilacap. Data Batimetri dan Topografi ini didapatkan melalui GEBCO. Pada Gebco data yang didapatkan berupa file Ascii yangnantinya bisa diubah menggunakan Global mapper menjadi file XYZ. Pada *software* Flow 3D diperlukan data berupa *file* STL yang didapatkan dengan mengubah *file* XYZ menjadi STL dengan bantuan *software* TopoToSTL yang merupakan *software* tambahan ketika *install software* Flow 3D. Berikut adalah batimetri dari wilayah Kota Cilacap dalam bentuk *file* XYZ yang dibuka menggunakan Global Mapper. Data topografi yang digunakan ada 2 macam yaitu *Data Terrain Model* dan *Data Surface Model* seperti pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Data Topografi dan Batimetri Kota Cilacap; (a) *Data Terrain Model* (b) *Data Surface Model*.

4.3. Data Tsunami

Data Tsunami yang digunakan pada penelitian ini didapatkan dari BPPT Yogyakarta. Data hipotetik yang digunakan adalah dengan momen magnitude MW 8,5 dan pembangkit tsunami terjadi di sekitar $80^{\circ} 11' 55.6101''$

lintang utara – $91^{\circ} 43' 15.9596''$ lintang selatan. Data hipotetik yang didapat berupa data elevasi (Z), flux M yang merupakan flux arah X, dan Flux N yang merupakan flux arah Y. Pada penggunaannya di *software* Flow 3D, flux M dan flux N diubah menjadi kecepatan dengan cara membagi flux dengan kedalaman (*depth*) dari titik *coupling* yang dapat dilihat menggunakan *software* Globbal Mapper.

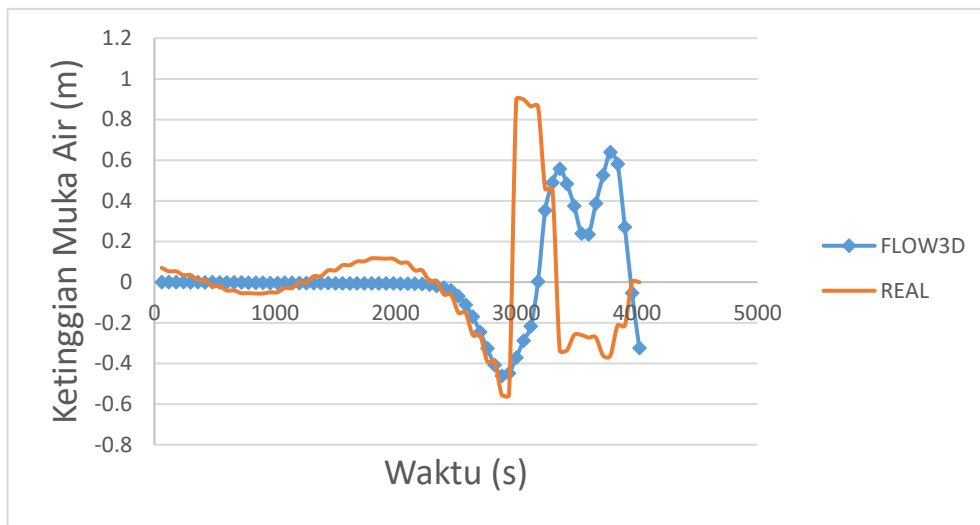
4.4. Validasi Model

Dalam melakukan simulasi, diharuskan untuk melakukan validasi untuk mengetahui apakah *software* yang digunakan bisa mencakup penelitian dengan valid atau tidak. Dalam penelitian ini validasi dilakukan dengan cara membandingkan hasil *coupling* TUNAMI dan Flow 3D dengan penelitian yang telah dilakukan pada tahun 2006 menggunakan data real. Pada penelitian 2006 momen magnitude yang digunakan adalah Mw 7,8 (Kongko, W., 2014). Data validasi didapatkan dari BPPT Yogyakarta. Berikut titik validasi dan juga beberapa titik observasi yang ditambahkan seperti pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Titik Validasi yang Didapatkan dari BPPT Yogyakarta dan Titik Observasi yang Ditambahkan

Validasi dipusatkan pada titik yang terletak di mulut sungai pada koordinat $82^{\circ} 05' 32.1540''$ N – $107^{\circ} 23' 30.2639''$ W. Pada proses validasi dilakukan *running software* dengan memasukkan data *coupling* pada Flow 3D. Hasil dari validasi dapat dilihat dari grafik seperti pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Perbandingan Data Nyata (Garis Oranye) dan Flow 3D (Garis Biru)

Setelah didapatkan perbandingan data real dan *software* Flow 3D, dilakukan perhitungan *Root Square Mean Error* (RMSE) dan *Normalized Root Square Mean Error* (NRMSE) untuk mengetahui apakah *software* FLOW 3D memiliki persen error dibawah 30% yang menyatakan validnya *software* Flow 3D yang akan digunakan.

Setelah dilakukan perhitungan didapatkan RMSE dan NRMSE yang diperlihatkan pada table 4.1 berikut,

Tabel 4.1 Perhitungan RMSE, NRMSE dan Persen Error

RMSE	0.40
NRMSE	0.28
%error	27.53

4.5. Pemodelan Menggunakan Flow 3D

Pada pemodelan, digunakan *software* Flow 3D untuk memproses data input hipotetik yang menghasilkan *run up* tsunami yang diinginkan. Hal pertama yang dilakukan untuk membuat tsunami menggunakan Flow 3D adalah

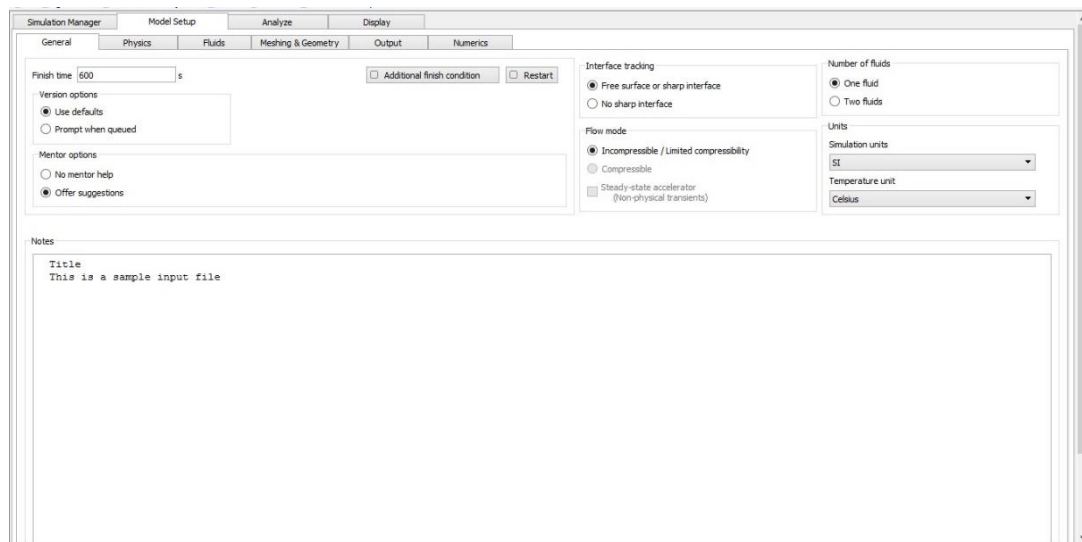
membuat *workspace*. Setelah pembuatan *workspace* dilanjutkan dengan pembuatan simulasi yang tahap tahapnya akan dijelaskan seperti berikut,

4.5.1. Model Set Up

Pada *model set up*, terdapat beberapa *tab* seperti, *general*, *physics*, *Fluids*, *meshing & geometry*, *output*. Penggunaan dari tiap tiap *tab* akan berbeda sesuai data input yang akan dimasukkan.

a. General

Pada tab ini bisa diinputkan *finish time* yang merupakan berapa lama waktu yang akan simulasi peragakan dalam pemodelan. Dalam penelitian ini, digunakan 5400 *sec*. Pada penggunaan *finish time*, semakin panjang waktu akan membuat proses *running* semakin lama. Memasukkan data general dapat dilihat seperti pada gambar 4.4

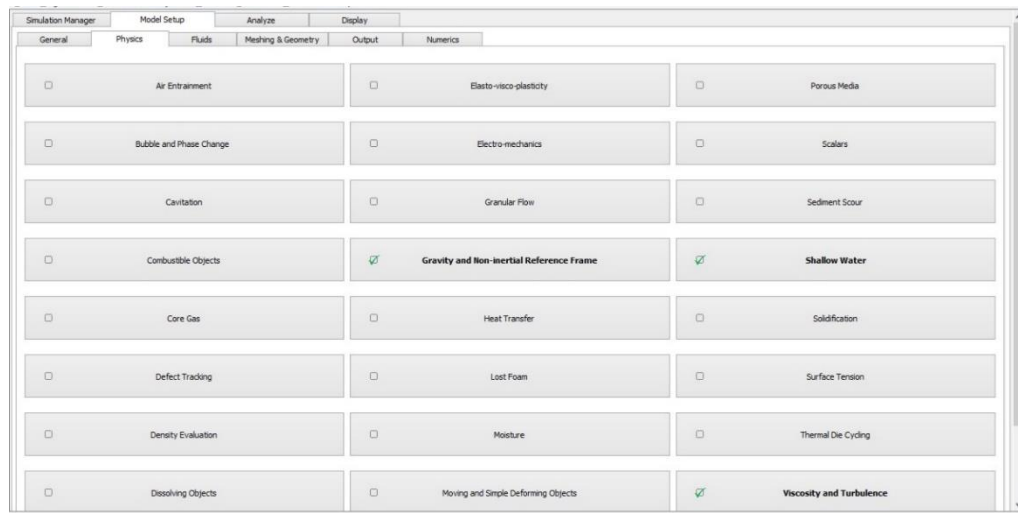


Gambar 4.4 Input Data Pada Tab General

b. Physics

Pada tab ini bisa diinputkan gravitasi yaitu -9,8 dari sumbu Z positif. Pada pilihan Shallow water di checklist untuk memasukan input flow tipe turbulence. Lalu checklist viscosity & turbulence untuk memasukan input

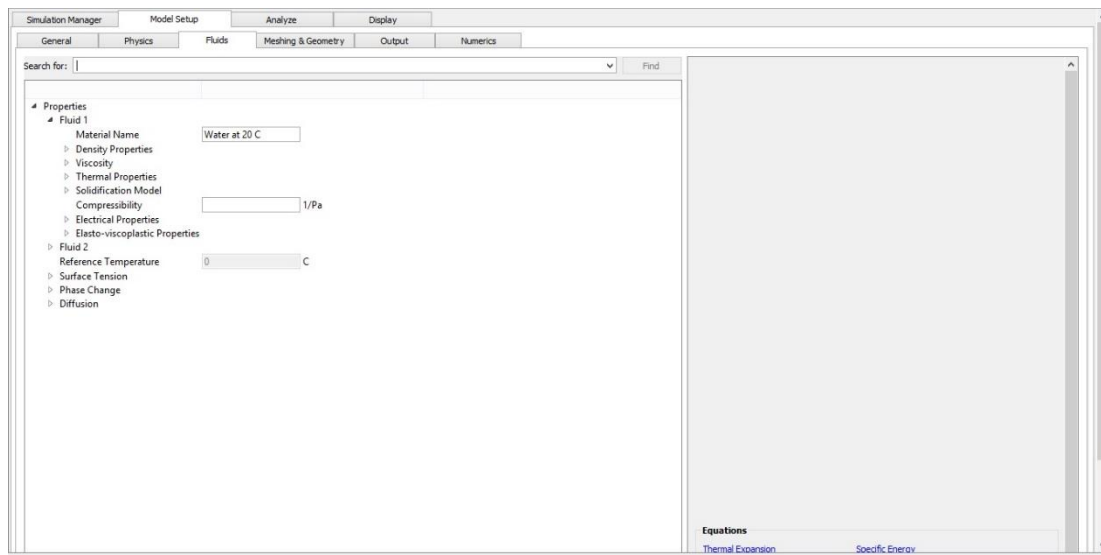
turbulence pada turbulence options. *Tab physics* dapat dilihat seperti pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Input Data Pada Tab Physics

c. *Fluids*

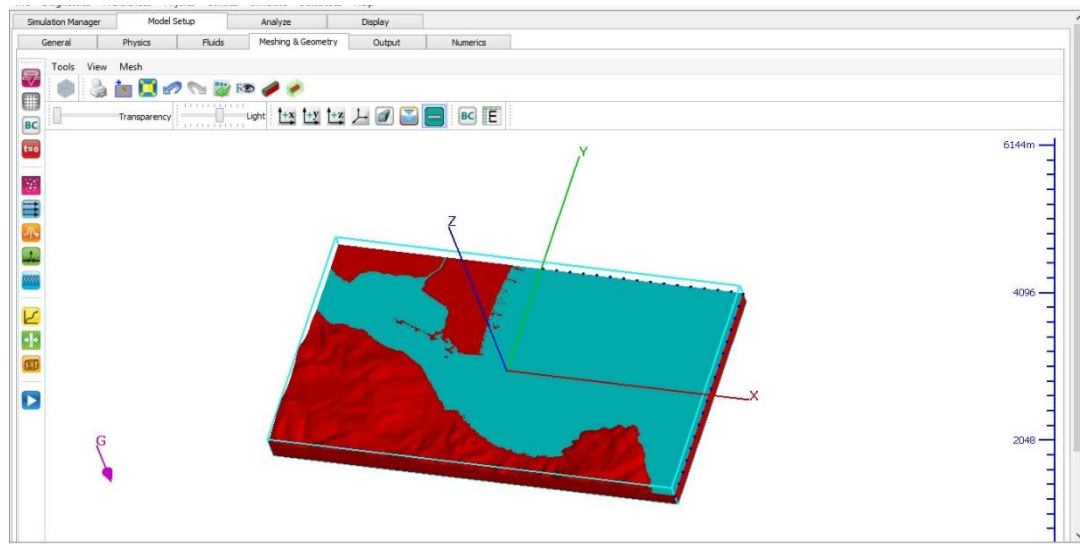
Pada tab fluids bisa dimasukkan jenis air yang akan digunakan dalam permodelan. Dalam pemodelan ini digunakan water 20° C dengan densitas air laut sebesar 1025 kg/m³. *Tab fluids* dapat dilihat seperti pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Input Data Pada Tab Fluids

d. *Meshing & Geometry*

Tab ini merupakan tempat dimana bisa mengolah data topografi dan batimetri dari wilayah yang akan di simulasikan. Dengan memasukan data topografi batimetri dari kota cilacap yang sudah diubah menjadi file STL akan didapatkan tampak 3 dimensi dari topografi dan batimetri. Pada tab ini, perlu untuk membuat *mesh* yang nantinya akan digunakan sebagai batasan wilayah topografi batimetri yang akan disimulasikan. Setelah pembuatan *mesh*, dapat diubah tiap sisi mesh seperti yang diinginkan. Dalam simulasi ini, *mesh* pada sumbu X max dimasukkan data hipotetik. Sedangkan *mesh* pada sumbu lainnya kecuali sumbu Z yang merupakan elevasi diisi menggunakan *continuative* agar aliran air tidak mengalami pantulan. *Tab mesh & geometry* dapat dilihat seperti pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Input Data Pada Tab Mesh & Geometry

e. *Output*

Pada tab ini dapat diatur keluaran dari proses pemodelan yang diinginkan.

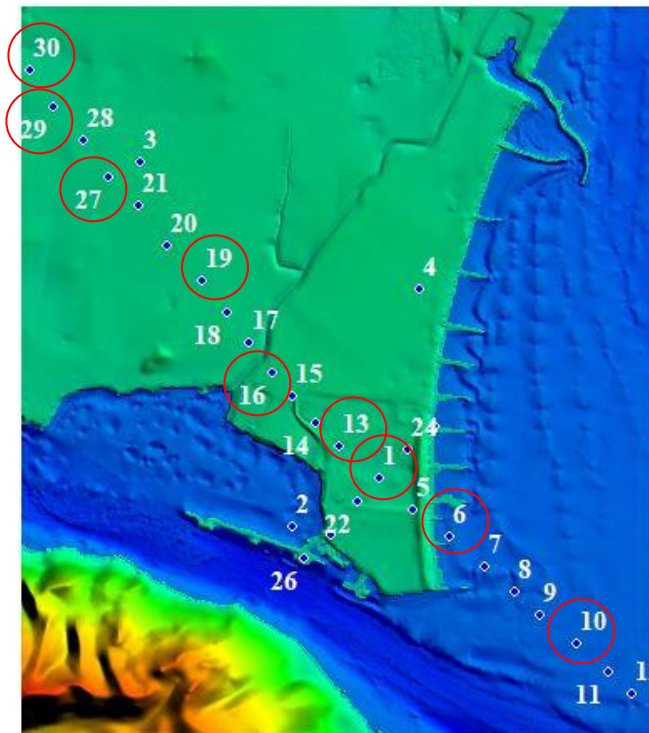
4.5.2. Process Simulation

Setelah mengatur inputan dalam pemodelan, dilakukan *process simulation*, ada dua jenis *process simulation* dalam Flow 3D, yaitu

preprocess simulation dan *process simulation*. Pada *preprocess simulation*, *software* melakukan *check* pada simulasi yang dilaksanakan apakah sudah sesuai dan tidak ada eror pada saat input data. Pada *process simulation*, *software* baru akan mulai menghitung dan mengolah data dari data input yang telah dimasukkan saat *model set up*. Dalam melakukan *process simulation*, menghabiskan waktu sekitar 3 hingga 5 jam untuk tiap simulasi pada penelitian ini.

4.5.3. Titik Probe

Titik Probe digunakan sebagai pembaca ketinggian tsunami yang diletakkan pada *cross section*. Pada penelitian ini diletakkan 30 Probe, tetapi untuk kemudahan pembacaan dan keringkasan, probe yang akan ditampilkan ada 9 buah. Yaitu pada titik 10, titik 6, titik 1, titik 13, titik 16, titik 19, titik 27, titik 29, dan titik 30. Probe yang terpasang bisa dilihat pada gambar 4.8 seperti berikut,

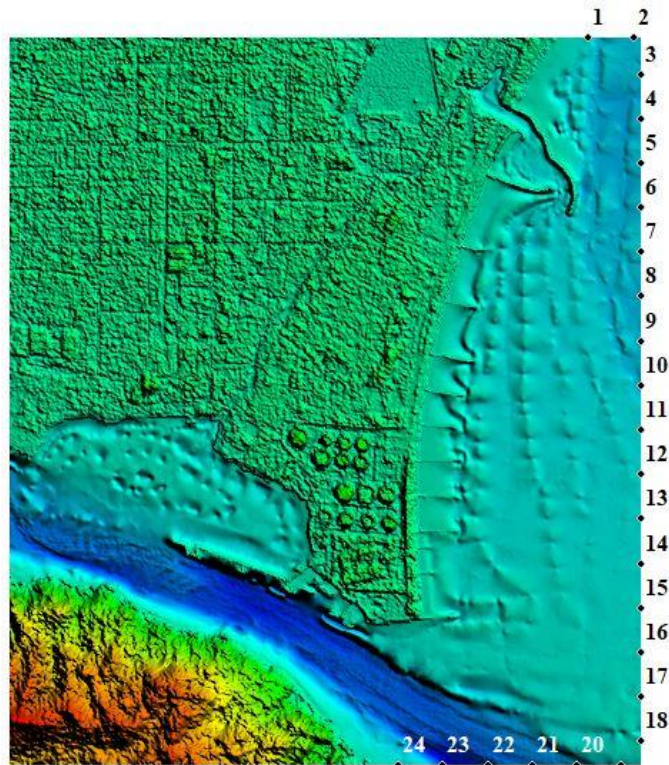


Gambar 4.8. 30 Titik Probe dan 9 Probe yang Dipilih untuk Dianalisa

Probe yang digunakan pada data topografi *Data Terrain Model* (DTM) dan *Data Surface Model* (DSM) adalah sama.

4.5.4. Titik *Coupling* pada *Software*

Pada penelitian ini, *coupling software* diperlukan untuk menghubungkan software TUNAMI dengan Flow 3D. Penggunaannya adalah dengan meneruskan gelombang yang sudah TUNAMI jalankan dari patahan penyebab gelombang tsunami yang lalu diteruskan menggunakan Flow 3D pada titik titik *coupling* yang sudah ditentukan. Pada tiap titik *coupling* terdapat data ketinggian dan flux hasil penjalaran gelombang menggunakan *software* TUNAMI yang diteruskan menggunakan *software* Flow 3D dengan memasukkan data yang sama. Pada gambar 4.9 dapat dilihat titik *coupling* pada topografi yang merupakan titik penghubung antara *software* TUNAMI dan Flow 3D.



Gambar 4.9 Titik – Titik *Coupling* pada Topografi yang menghubungkan *Software* TUNAMI dan Flow 3D

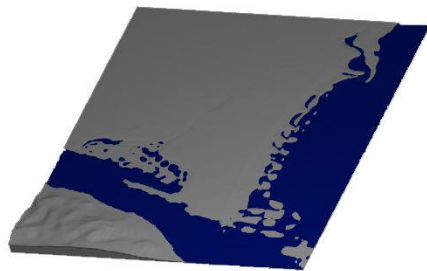
4.5.5. Hasil *Running*

Setelah *process simulation* selesai dilakukan, hasil yang didapatkan adalah berupa file FLSGRF yang bisa dilihat dalam berbagai bentuk yaitu 1D, 2D, dan 3D. Dalam hasil 3D, bisa dilihat aliran dari tsunami yang telah dibuat. Pada *tab probe*, bisa dilihat ketinggian dalam bentuk grafik pada titik tertentu yang ditentukan berdasarkan *probe* yang telah di pasang.

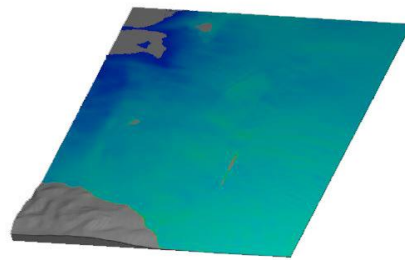
Berikut adalah hasil *running* dari Flow 3D menggunakan data hipotetik,

a. Topografi *Data Terrain Model*

Pada topografi *Data Terrain Model*, tidak Nampak adanya bangunan, pepohonan, rumah warga dan juga infrastruktur kota yang menyebabkan tsunami bisa bebas menerjang daratan sehingga dapat dilihat perubahan ketinggian air yang signifikan seperti pada gambar 4.10 dan Gambar 4.11 berikut,

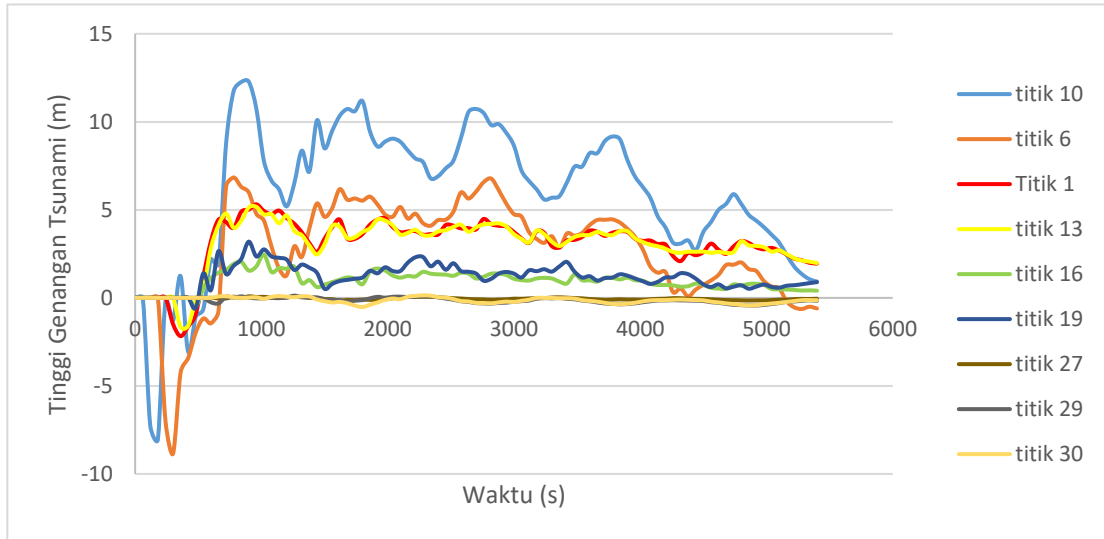


Gambar 4.10 *Data Terrain Model* pada Detik 0



Gambar 4.11 *Data Terrain Model* pada Detik 3600

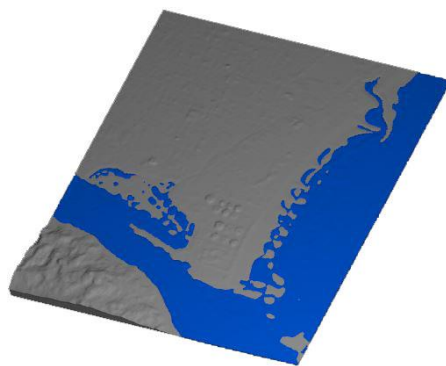
Data ketinggian genangan tsunami juga dapat dilihat dari grafik pada *probe probe* yang telah dipasang seperti pada Gambar 4.12 berikut,



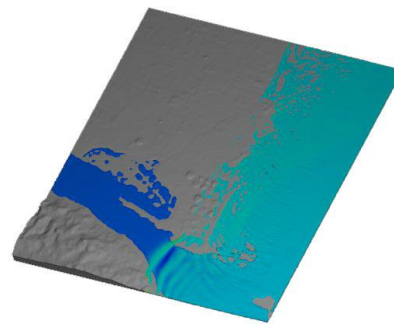
Gambar 4.12 Waktu Terhadap Tinggi Genangan Tsunami pada *Data Terrain Model*

b. Topografi *Data Surface Model*

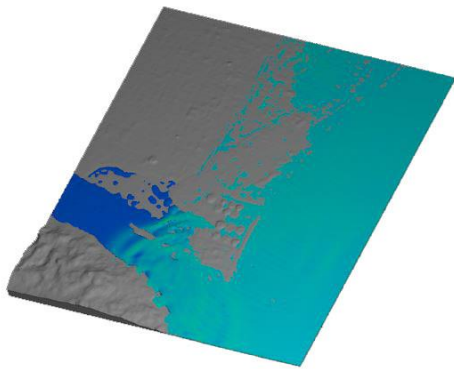
Berbeda dengan topografi *Data Terrain Model*, topografi *Data Surface Model* telah ditambahkan adanya bangunan, perumahan, pepohonan, dan infrastruktur lainnya yang membuat topografi ini lebih berkontur. Kontur ini juga mengakibatkan gelombang tsunami menjadi tidak menjalar secara signifikan seperti pada topografi *Data Terrain Model*. Pada Gambar 4.13, 4.14, 4.15 dan 4.16 dapat dilihat perubahan ketinggian air seperti berikut,



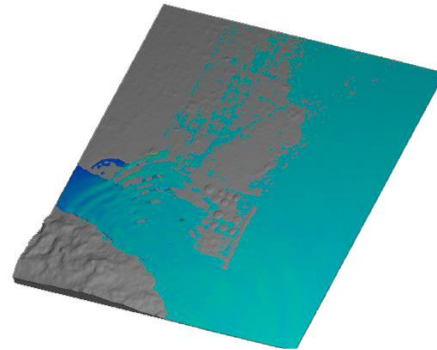
Gambar 4.13 *Data Surface Model* pada Detik 0



Gambar 4.14 *Data Surface Model* pada Detik 1200

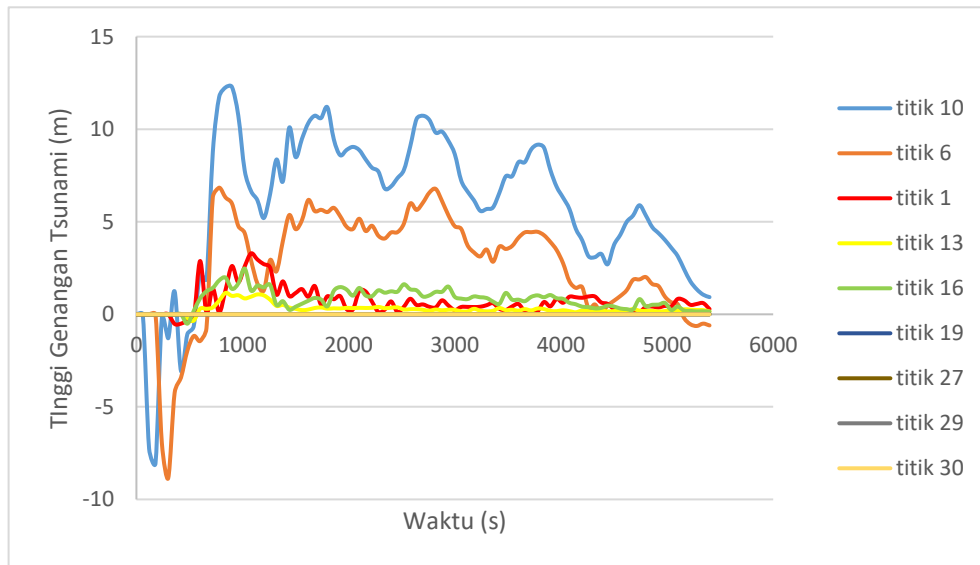


Gambar 4.15 *Data Surface Model* pada Detik 3600



Gambar 4.16 *Data Surface Model* pada Detik 5400

Data ketinggian genangan tsunami juga dapat dilihat dari grafik pada gambar 4.17. Perbedaan ketinggian akan tampak jika dibandingkan dengan gambar 4.12. Pada topografi *Data Surface Model* terdapat beberapa titik probe yang jauh dari bibir pantai yaitu titik 19, titik 27, titik 29, dan titik 30 tidak membaca adanya ketinggian air yang menandakan tidak sampainya tsunami pada titik probe tersebut

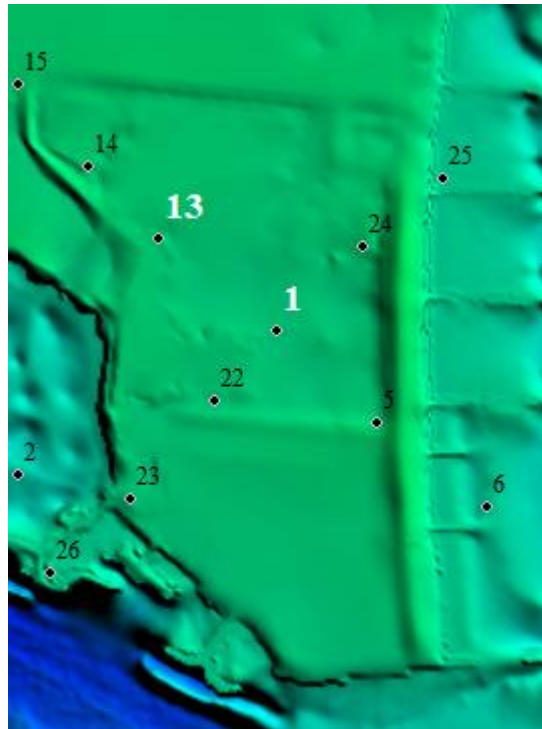


Gambar 4.17 Waktu Terhadap Tinggi Genangan Tsunami pada *Data Surface Model*

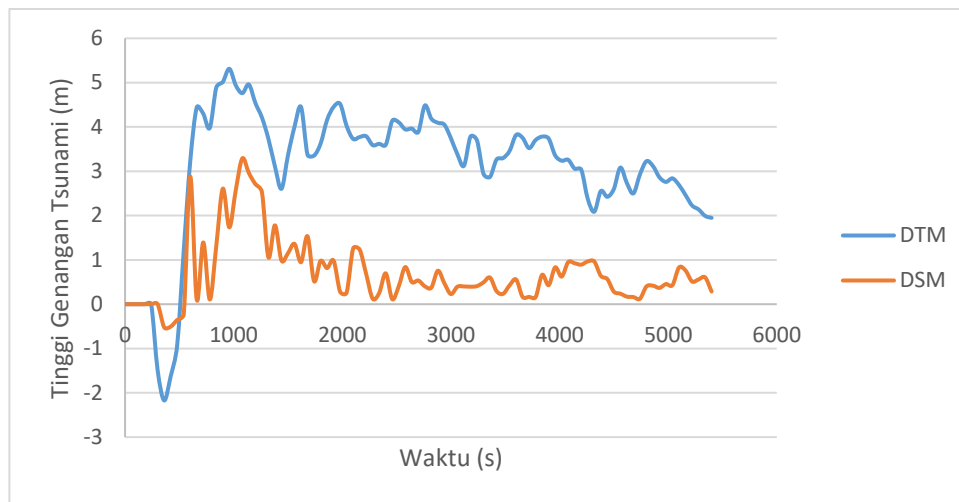
c. Perbandingan *Data Terrain Model* dan *Data Surface Model*

Perbandingan terhadap *Data Terrain Model* dan *Data Surface Model* dapat dilihat dari ketinggian tsunami. Dikarenakan pada topografi *Data Terrain Model* tidak ada bangunan yang menghalangi tsunami, sedangkan

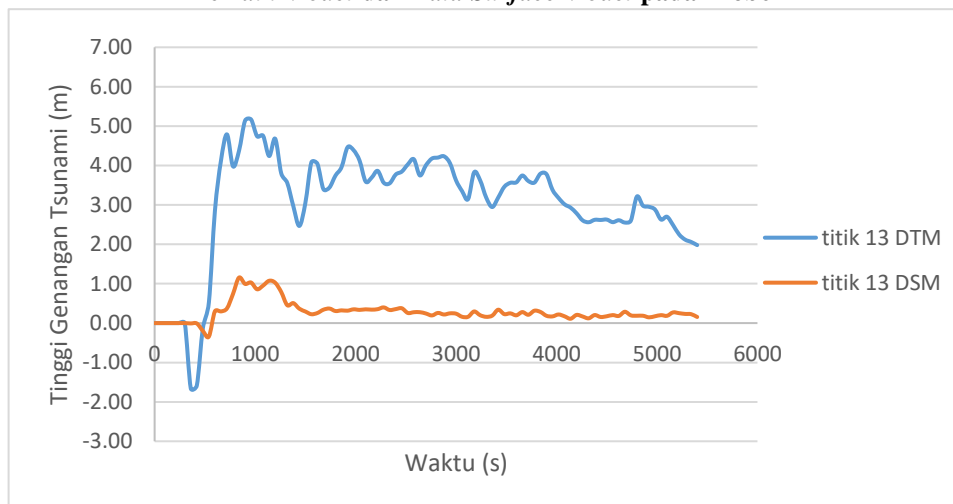
pada *Data Surface Model*, pepohonan, rumah, kilang minyak merupakan penghambat dari tsunami untuk merambat ke daratan yang lebih jauh. Dalam simulasi ini perbandingan data topografi dilihat dari titik probe yang berada di kilang minyak milik PT. Pertamina (Persero) dan titik probe yang diletakkan setelah kilang minyak paling jauh. Titik kilang minyak (titik 1) dan titik setelah kilang minyak (titik 13) dapat dilihat seperti gambar 4.18 berikut,



Gambar 4.18. Titik Probe 1 kilang minyak dan titik probe 13 setelah kilang minyak



Gambar 4.19 Perbandingan Tinggi Genangan Tsunami pada Topografi Data Terrain Model dan Data Surface Model pada Probe 1

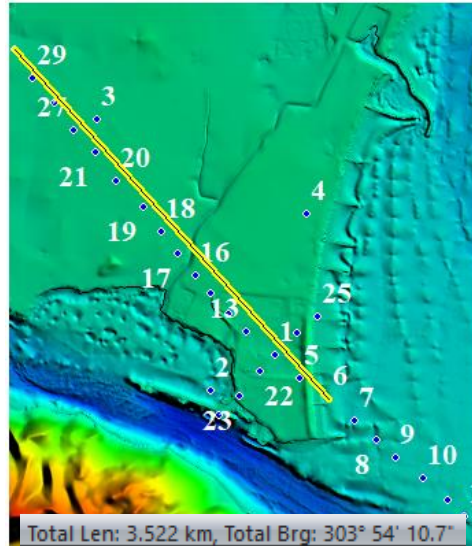


Gambar 4.20 Perbandingan Tinggi Genangan Tsunami pada Topografi Data Terrain Model dan Data Surface Model pada Probe 13

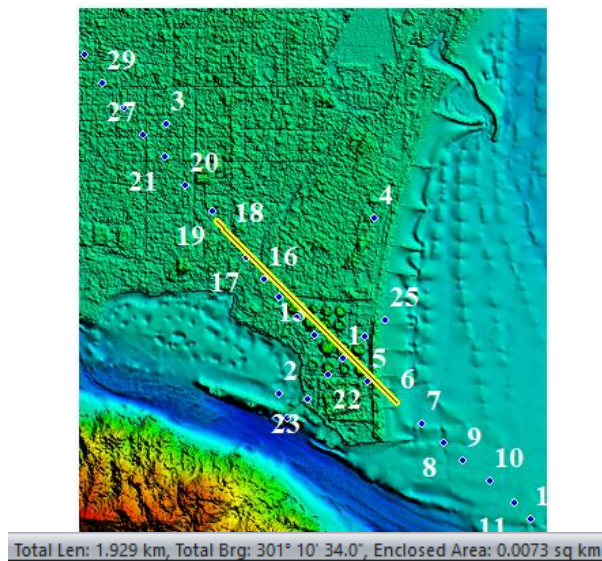
Pada gambar 4.19 dapat dilihat ketinggian pada *Data Terrain Model* genangan mencapai 5,3 m dan pada *Data Surface Model* mencapai 3,3 m. Perbedaan antara DTM dan DSM mencapai ~2 m, dalam kata lain perbandingan dari data DTM dan DSM dalam persen berkisar 66%. Pada gambar 4.20 menunjukkan pada DSM penyurutan akibat tsunami melewati kilang minyak.

Jarak genangan terjauh dapat dilihat menggunakan Global Mapper dengan cara menarik garis dari pantai hingga genangan paling jauh yang

terjadi. Jarak paling jauh pada *Data Terrain Model* adalah 3,52 Km untuk dan pada *Data Surface Model* adalah 1,92 Km. Jarak genangan diukur seperti pada gambar 4.21 dan 4.22 berikut.



Gambar 4.21 Pengukuran Jarak Genangan Terjauh pada *Data Terrain Model*

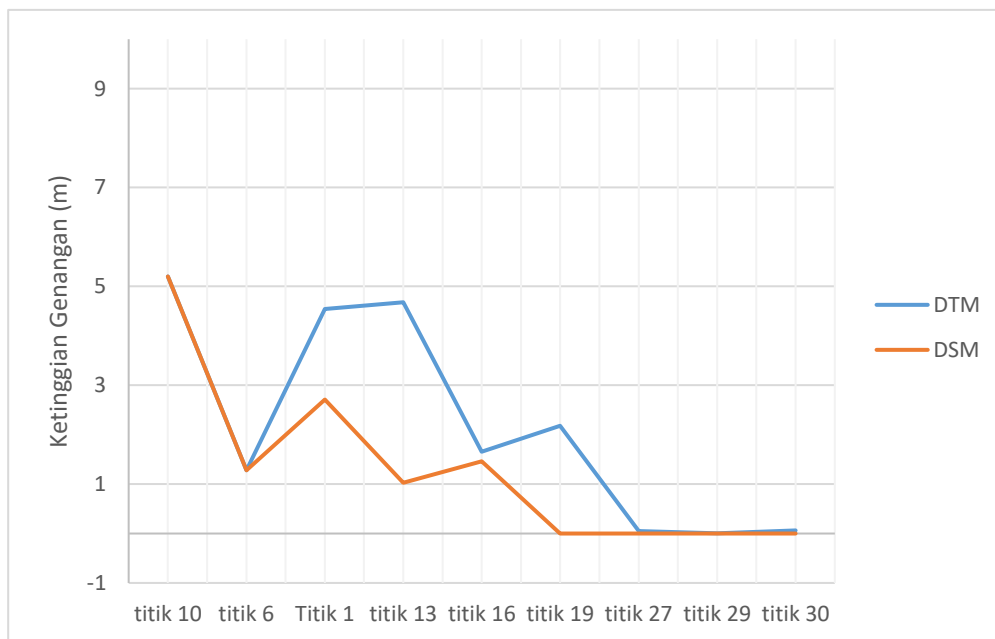


Gambar 4.22 Pengukuran Jarak Genangan Terjauh pada *Data Surface Model*

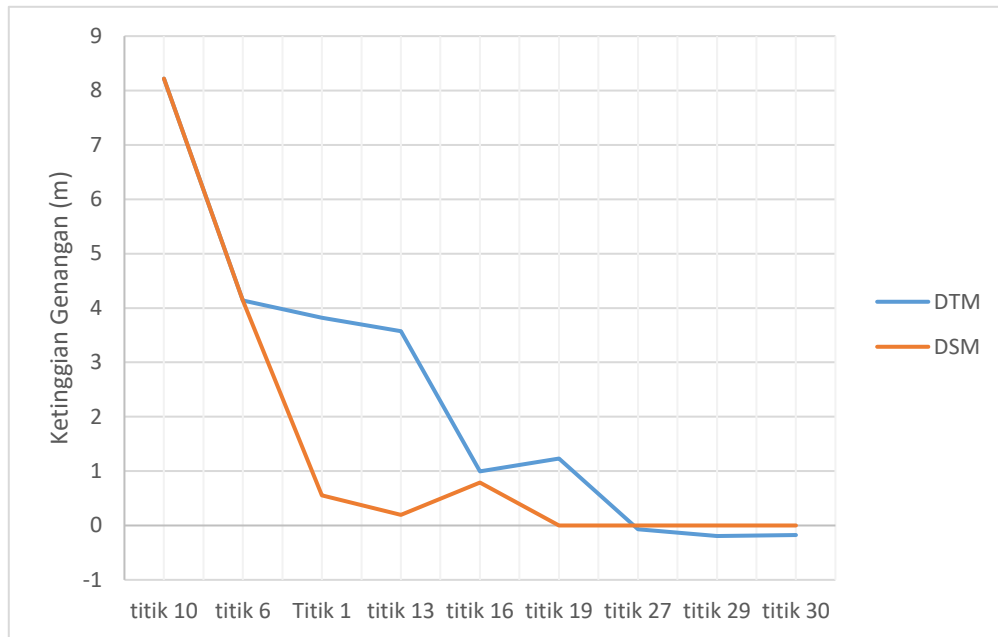
Untuk mengetahui berapa waktu yang diperlukan untuk tsunami mencapai pantai, dilakukan perhitungan sederhana dengan menambahkan waktu data TUNAMI mencapai titik *coupling* pada *mesh* dari Flow 3D. Pada TUNAMI membutuhkan waktu 2500 detik untuk mencapai titik *coupling*, data ini didapatkan dari BPPT Yogyakarta. Pada Flow 3D

dibutuhkan waktu 240 detik untuk mencapai pantai dilihat dari titik dimana grafik mulai turun atau naik dari permukaan 0 m. Total waktu untuk tsunami mencapai pantai adalah 2740 detik atau 45 menit 40 detik.

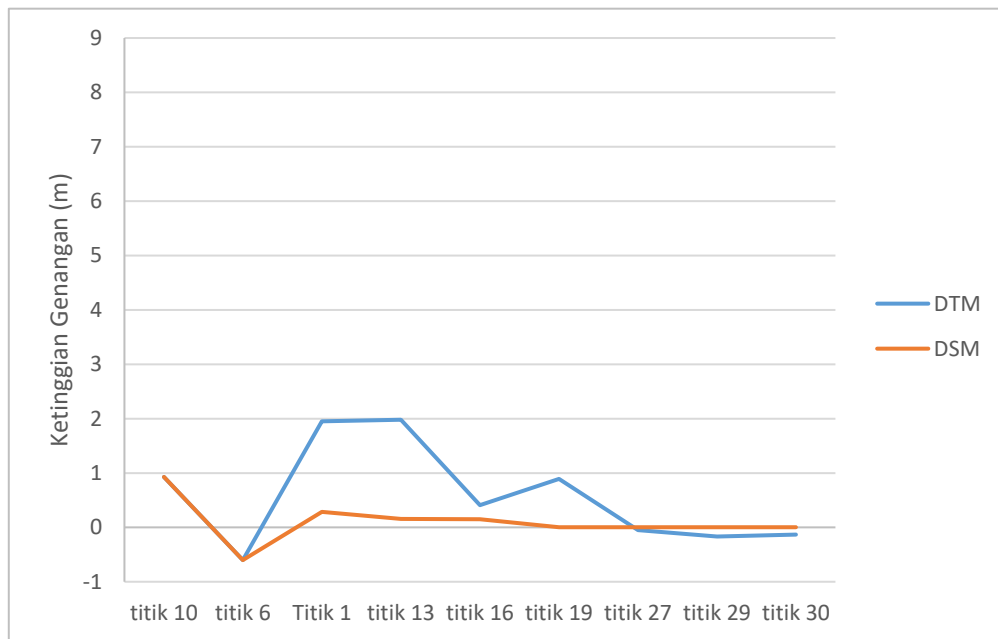
Pada probe yang disusun sesuai *cross section* pada skenario topografi, didapatkan perbandingan ketinggian genangan yang dapat dilihat pada gambar 4.23 yang merupakan ketinggian pada probe saat detik 1200, gambar 4.24 yang merupakan ketinggian pada probe saat detik 3600, dan gambar 4.25 yang merupakan ketinggian pada probe saat detik 5400 seperti berikut,



Gambar 4.23 Perbandingan DTM dan DSM pada *Cross Section Probe* detik 120



Gambar 4.24 Perbandingan DTM dan DSM pada *Cross Section Probe* detik 3600



Gambar 4.25 Perbandingan DTM dan DSM pada *Cross Section Probe* detik 5400

Bisa dimati, ketinggian genangan yang terbaca pada probe yang di pasang secara *cross section* pada topografi menunjukkan perbedaan dari *data terrain model* dan *data surface model*. Ketinggian genangan pada probe *data terrain model* memiliki ketinggian yang lebih tinggi dikarenakan tidak adanya kontur pada topografi sehingga penjalaran gelombang tsunami lebih bebas dibandingkan dengan *data surface model*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian tugas akhir mengenai Pemodelan *Run Up* Tsunami 3D Menggunakan Data Detil Dengan Skenario Jamak, Studi Kasus Kota Cilacap ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil pemodelan menggunakan data topografi *Data Terrain Model*, ketinggian genangan pada titik probe di kilang minyak yang terjadi adalah 5,3 m dengan jarak 3,52 Km dari bibir pantai. Hasil pemodelan menggunakan data topografi *Data Surface Model*, ketinggian genangan pada titik probe di kilang minyak yang terjadi adalah 2,3 m dengan jarak 1,92 Km dari bibir pantai.
2. Waktu rambatan gelombang tsunami dari patahan hingga bibir pantai adalah 2740 detik atau 45 menit 40 detik.
3. Perbandingan topografi DTM dan DSM dapat dilihat dari ketinggian dan jarak genangan dikarenakan pada DTM, topografi tidak memasukkan data data ketinggian bangunan yang mengakibatkan aliran gelombang tsunami tidak terhambat menuju daratan yang lebih jauh. Pada DSM data ketinggian bangunan seperti kilang minyak perumahan, pepohonan, menyebabkan aliran tsunami terhambat untuk menuju daratan yang lebih jauh.

5.2. Saran

Dari hasil penelitian tugas akhir mengenai Pemodelan *Run Up* Tsunami 3D Menggunakan Data Detil Dengan Skenario Jamak, Studi Kasus Kota Cilacap ini penulis dapat memberikan saran sebagai berikut:

1. Untuk melakukan pemodelan menggunakan Flow 3D, sebaiknya menggunakan komputer yang memiliki RAM diatas 16 gb untuk mempercepat proses *running* dan *render* sehingga pemodelan dapat dilakukan menggunakan grid yang lebih kecil dan mendapatkan hasil yang lebih akurat.
2. Perlu adanya kalibrasi kembali agar hasil yang didapatkan pada validasi bisa mencapai lebih dari 80% atau persen eror di bawah 20%.
3. Untuk pemodelan pada Kota Cilacap diharapkan bisa diberi tambahan berupa mitigasi berupa *green belt*, parit, atau pemecah gelombang.
4. Untuk Visualisasi, data yang diambil bisa menggunakan *time step* yang lebih kecil sehingga didapatkan perubahan visual yang lebih bagus.

DAFTAR PUSTAKA

- Aisyah, Siti, 2015, “Analisis Perubahan Permukiman dan Karakteristik Permukiman Kumuh Akibat Abrasi dan Inundasi di Pesisir Kecamatan Sayung Kabupaten Demak Tahun 2003 – 2013”, *Jurnal GeoEco*, ISSN: 2460-0768.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Cilacap,
<https://cilapkab.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/139> diakses pada
Senin, 10 September 2017, 05.30 WIB,
- BMG, 2006, *Laporan Survey Pantai Selatan Jawa*, Badan Meteorologi dan Geofisika, Jakarta.
- Flow3d.com. *Tsunami*. <https://www.flow3d.com/industries/water-environmental/tsunamis/> diakses pada Senin, 10 September 2017, 05.00 WIB,
- Hall, R, 2009, *Encyclopedia of Islands*. In D. A. Clague, with Rosemary G. Gillespie, eds. Regents of the University of California, pp. 454-460.
- INTERMAP, 2007, *Product Handbook & Quick Start Guide*.
- ITDB/WLD, 2007, *Integrated Tsunami Database for the World Ocean, ver.6.52 of Dec.31 2007*, Tsunami Lab. ICMG SD RAS, Novosibirsk, Russia
- JMA Japan Meteorological Agency, 2007, *Draft of Manual on Operation Systems for Tsunami Warning Service*.
- Jokowinarno, D, 2011, *Mitigasi Bencana Tsunami di Wilayah Pesisir Lampung*, Lampung University, Lampung.
- Kongko, W, 2011, *South Java Tsunami Model Using Highly Resolved Data And Probable Tsunamigenic Sources*, Leibniz Universität Hannover.
- Kongko, W & Hidayat, R, 2014, “Earthquake-Tsunami in South Jogjakarta Indonesia: Potential, Simulation Models, and Related Mitigation Efforts”, *IOSR Journal of Applied Geology and Geophysics (IOSR-JAGG)*, e-ISSN: 2321-0990, p-ISSN: 2321-0982. Volume 2, Issue 3 (May-Jun. 2014), PP 18-22.
- Kongko, W, & Schlurmann, T, 2010, “The Java Tsunami Model: Using Highly-Resolved Data To Model The Past Event And To Estimate The Future Hazard.” *Proceedings of 32nd Conference on Coastal Engineering*, Shanghai, China. ISBN: 978-0-9896611-0-2. ISSN: 2156-1028.

- Pignatelli, C, Sansò, G, Mastronuzzi, G, 2009, *Evaluation of tsunami flooding using geomorphologic evidence. Mar. Geol.* 260, 6–18.
- Prasetya, Tiar, 2006, *Gempa Bumi*, Gitanagari, Yogyakarta.
- Rusli, M 2005, *Gempa Bumi dan Tsunami*. Badan Geologi Indonesia, Jakarta.
- Satake, 2006, *Tsunami and Earthquake*, Geological Survey of Japan, National Institute of Advance Industrial Science and Technology, IISEE (International Institute of Seismology and Earthquake Engineering), Tsukuba.
- Trianawati, N. S, 2008, *Tsunami*, Fakultas Pendidikan Ilmu Pengetahuan Sosial Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.
- Triatmadja, R 2010, *Tsunami Kejadian, Penjalaran, Daya Rusak, dan Mitigasinya*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Triatmojo, B 1999, *Teknik Pantai*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Tsuji, Y, Imamura, F, Matsutomi, H, Synolakis, E, C, Puspito, N, Jumadi, Harada, S, Han, S, S, Arai, K, Cook, B, 1995, “Field Survey of the East Java Earthquake and Tsunami of June 3”, *1994 PAGEOPH*, Vol. 144, Nos, ¾.
- UNESCO-IOC 2nd, 2014, “Post Tsunami Survey Field Guide, 2nd edition”, *IOC Manuals and Guides*, No. 37, p. 48
- USGS, 2010, *Source Parameters of Earthquake Mw 6.5 above at Java Subduction Zone*.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN 1.
Data Validasi

(halaman ini sengaja dikosongkan)

Data Hasil *Running Flow* 3D dan data *Real* pada titik validasi

TIME	FLOW3D	REAL		TIME	FLOW3D	REAL
60	-4.885E-14	0.070291		2160	-0.0084493	0.057591
120	-0.0003087	0.053291		2220	-0.00953	0.057591
180	-0.0009652	0.053291		2280	-0.0129309	0.004691
240	-0.0008408	0.034391		2340	-0.0186238	0.004691
300	-0.0015776	0.034391		2400	-0.0268986	-0.060509
360	-0.0004781	0.009491		2460	-0.0413311	-0.060509
420	-0.0013149	0.009491		2520	-0.0690057	-0.150209
480	-0.0006702	-0.019609		2580	-0.1119915	-0.150209
540	-0.0014252	-0.019609		2640	-0.1701351	-0.261109
600	-0.0014084	-0.041009		2700	-0.2452721	-0.261109
660	-0.002303	-0.041009		2760	-0.3268268	-0.391109
720	-0.0023804	-0.054109		2820	-0.4078161	-0.391109
780	-0.0026912	-0.054109		2880	-0.4616346	-0.555509
840	-0.0036655	-0.055909		2940	-0.4483154	-0.555509
900	-0.003893	-0.055909		3000	-0.3715174	0.898691
960	-0.0043509	-0.049909		3060	-0.2887112	0.898691
1020	-0.0043694	-0.049909		3120	-0.2177977	0.864591
1080	-0.0040768	-0.029009		3180	0.0029359	0.864591
1140	-0.0039953	-0.029009		3240	0.3527683	0.457491
1200	-0.0046293	-0.001709		3300	0.4895574	0.457491
1260	-0.0043649	-0.001709		3360	0.556801	-0.336009
1320	-0.0052835	0.028891		3420	0.4832147	-0.336009
1380	-0.0053169	0.028891		3480	0.3743991	-0.260309
1440	-0.0055915	0.057791		3540	0.2383788	-0.260309
1500	-0.0062412	0.057791		3600	0.1734443	-0.272609
1560	-0.0062621	0.083191		3660	0.3868306	-0.272609
1620	-0.0061083	0.083191		3720	0.5246837	-0.361609
1680	-0.0065704	0.101991		3780	0.6384186	-0.361609
1740	-0.0063029	0.101991		3840	0.5800126	-0.213009
1800	-0.0064363	0.116891		3900	0.2707743	-0.213009
1860	-0.0069363	0.116891		3960	-0.0540285	-0.000609
1920	-0.0067813	0.115191		4020	-0.3245307	-0.000609
1980	-0.0070138	0.115191		MAX	0.6384186	0.898691
2040	-0.0074891	0.095191		MIN	-0.4616346	-0.555509
2100	-0.0079083	0.095191		MEAN	0.0196556	-0.0029657

(halaman ini sengaja dikosongkan)

Perhitungan RMSE dan NRMSE

ERROR FLOW 3D-REAL	SQUARE FLOW 3D-REAL	ERROR FLOW 3D-REAL	SQUARE FLOW 3D-REAL
0.070291	0.004940825	0.066040346	0.004361327
0.053599677	0.002872925	0.067120966	0.004505224
0.054256195	0.002943735	0.017621947	0.000310533
0.035231824	0.001241281	0.023314758	0.000543578
0.035968613	0.001293741	-0.033610377	0.001129657
0.009969111	9.93832E-05	-0.019177943	0.000367793
0.010805865	0.000116767	-0.08120328	0.006593973
-0.018938831	0.000358679	-0.03821746	0.001460574
-0.018183776	0.00033065	-0.09097386	0.008276243
-0.039600599	0.001568207	-0.01583694	0.000250809
-0.038705995	0.001498154	-0.06428222	0.004132204
-0.051728645	0.002675853	0.01670714	0.000279129
-0.051417773	0.002643787	-0.09387445	0.008812412
-0.052243469	0.00272938	-0.10719356	0.011490459
-0.052015981	0.002705662	1.27020839	1.613429354
-0.045558113	0.002075542	1.18740222	1.409924032
-0.045539629	0.002073858	1.08238865	1.17156519
-0.024932203	0.000621615	0.861655116	0.74244954
-0.025013698	0.000625685	0.10472267	0.010966838
0.002920305	8.52818E-06	-0.03206641	0.001028255
0.002655888	7.05374E-06	-0.89280996	0.797109625
0.034174547	0.0011679	-0.81922371	0.671127487
0.034207937	0.001170183	-0.6347081	0.402854372
0.063382522	0.004017344	-0.49868782	0.248689542
0.064032242	0.004100128	-0.44605332	0.198963564
0.089453117	0.00800186	-0.65943963	0.434860626
0.089299286	0.007974362	-0.88629271	0.785514768
0.108561356	0.011785568	-1.00002761	1.000055221
0.108293862	0.01172756	-0.79302156	0.628883195
0.123327272	0.015209616	-0.48378325	0.234046233
0.123827279	0.015333195	0.053419537	0.002853647
0.121972302	0.014877242	0.32392166	0.104925242
0.122204807	0.014934015	MSE	0.159353188
0.102680064	0.010543196	RMSE	0.399190666
0.10309925	0.010629455	NRMSE	0.274508779
		%error	27.45087787

(halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN 2.
Waktu Terhadap Tinggi Inundasi Tsunami pada Probe

(halaman ini sengaja dikosongkan)

Ketinggian Inundasi Tsunami Terhadap Waktu pada Titik Probe Topografi Data Terrain Model (DTM)

time	titik 10	titik 6	Titik 1	titik 13	titik 16	titik 19	titik 27	titik 29	titik 30
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	-7.269543	0	0	0	0	0	0	0	0
180	-8.0438705	0	0	0	0	0	0	0	0
240	-0.195122	-6.964689	0	0	0	0	0	0	0
300	-1.2901865	-8.846357	-1.4874804	0	0	0	0	0	0
360	1.236875	-4.244833	-2.1730667	-1.65874	0	0	0	0	0
420	-3.057578	-3.424826	-1.6281013	-1.585512	0	0	0	0	0
480	-1.074865	-1.967998	-0.9253111	-0.131745	-0.505419	-0.577884	0	0	0
540	-0.643284	-1.173511	1.2032118	0.526009	0.54976	1.395273	0	0	0
600	2.205582	-1.447318	3.2202674	2.839647	1.11763	0.436955	0.0018478	-0.2511945	0
660	1.89486	-0.754219	4.4409197	4.117899	14.36472	2.656922	-0.0261211	-0.3159232	0.0801664
720	8.75216	6.319401	4.2983129	4.789744	15.86275	1.347237	-0.0356374	0.0598566	0.0923209
780	11.744442	6.841695	3.9767602	3.978925	19.26055	1.820464	0.0674038	0.0169093	0.034204
840	12.256722	6.310293	4.8892312	4.374147	2.051697	2.203608	-0.0115561	0.0843222	-0.001359
900	12.279725	5.986464	5.0135498	5.137267	1.546159	3.196254	0.0880237	0.0092742	0.0155592
960	10.732441	4.770643	5.3129489	5.168648	1.791401	2.349534	0.0494948	-0.0240272	0.0318761
1020	7.774901	4.389126	4.9359177	4.740992	2.459579	2.75341	0.0581126	-0.0300887	-0.0475659
1080	6.660447	2.918312	4.7623156	4.753027	1.471048	2.351809	0.0078354	0.0075466	0.0563126
1140	6.16193	1.664292	4.9578907	4.238935	1.696453	2.273417	-0.016242	0.006849	0.1020403
1200	5.200031	1.279971	4.5398038	4.680114	1.656728	2.176361	0.0497809	0.0042417	0.0647593
1260	6.497047	2.928907	4.2146496	3.802801	1.77289	1.585841	0.0620523	0.1263082	0.0369649
1320	8.360171	2.323668	3.7312303	3.559175	0.835672	1.890402	0.0618024	0.029978	0.089552
1380	7.179541	3.95725	3.1085362	2.970338	1.009126	1.71176	-0.001677	0.0274617	0.0803018
1440	10.086646	5.360195	2.6045558	2.465458	0.612264	1.420097	-0.0093746	0.0297521	-0.0917659
1500	8.492641	4.600584	3.3610185	3.041883	0.752874	0.514507	-0.06991	-0.0699073	-0.1851511
1560	9.478269	5.085184	4.0022647	4.077397	0.891419	0.790219	-0.0758667	-0.1264817	-0.2614641
1620	10.334139	6.175882	4.4504159	4.044385	1.031804	0.954304	-0.1541877	-0.1291939	-0.2292504
1680	10.727062	5.577886	3.3724173	3.40014	1.16024	1.020584	-0.1193485	-0.2133223	-0.3017888
1740	10.601468	5.646836	3.3527102	3.441096	1.088567	1.086879	-0.1288519	-0.1568654	-0.4384932
1800	11.178536	5.524089	3.6219792	3.744407	0.774422	1.16675	-0.0963249	-0.1279311	-0.5202994
1860	9.447441	5.751116	4.1582359	3.955593	1.49447	1.535401	-0.1152754	-0.0272684	-0.3924365
1920	8.595719	5.30009	4.4519944	4.461637	1.66637	1.395569	-0.0953159	0.0598245	-0.2583379
1980	8.877754	4.732735	4.5201072	4.389563	1.55478	1.735592	-0.0875101	0.0095094	-0.1131024
2040	9.043913	4.607026	4.0227789	4.123078	1.268978	1.527705	-0.0208192	0.0619353	-0.0377536
2100	8.870501	5.16185	3.7298989	3.594175	1.14924	1.522174	0.0171652	0.0673927	-0.0764813
2160	8.36915	4.499952	3.7727102	3.691988	1.245604	2.002835	0.0478907	0.0493118	0.0642138
2220	7.916531	4.782264	3.7898532	3.863664	1.217818	2.30618	0.055677	0.0763242	0.1121347
2280	7.711868	4.241449	3.5888377	3.562599	1.48006	2.31945	0.0661597	0.0958969	0.1420451
2340	6.795156	4.095189	3.619609	3.548985	1.372886	1.796303	0.063921	0.080681	0.1257568

Ketinggian Inundasi Tsunami Terhadap Waktu pada Titik Probe Topografi Data Terrain Model (DTM)

time	titik 10	titik 6	Titik 1	titik 13	titik 16	titik 19	titik 27	titik 29	titik 30
2400	6.911461	4.421331	3.5958902	3.771201	1.335173	2.057409	0.0392924	0.0310161	0.0417409
2460	7.360411	4.438598	4.1392337	3.845263	1.319256	1.600299	0.008018	-0.0405105	0.0122266
2520	7.789874	4.890835	4.1041462	4.0271	1.254292	1.967173	-0.0186686	-0.1015237	-0.0669555
2580	9.067731	5.987989	3.9447968	4.158836	1.425872	1.523957	-0.0385041	-0.1921246	-0.1823234
2640	10.553794	5.639922	3.963442	3.746734	1.378012	1.483207	-0.0669222	-0.22834	-0.204359
2700	10.726437	6.034653	3.8868613	4.004136	1.099434	1.378756	-0.0812011	-0.2956183	-0.285665
2760	10.502601	6.569187	4.4837408	4.175921	1.202836	0.972629	-0.0892916	-0.319042	-0.287642
2820	9.815798	6.775066	4.1848086	4.201389	1.373959	1.084428	-0.1107673	-0.3253081	-0.3116822
2880	9.868135	6.113526	4.0943161	4.233466	1.377411	1.380591	-0.0960641	-0.2853153	-0.2560033
2940	9.366321	5.345003	4.0499263	4.056468	1.298609	1.472583	-0.0848551	-0.269892	-0.2134256
3000	8.648662	4.75631	3.7449223	3.621812	1.084123	1.377101	-0.0476351	-0.22028	-0.2321191
3060	7.23052	4.617054	3.3819534	3.350592	1.006227	1.155133	-0.0531864	-0.1845291	-0.165658
3120	6.631467	3.725945	3.1227287	3.146882	0.984979	1.565895	-0.0314889	-0.1527989	-0.1056008
3180	6.16308	3.345739	3.7816352	3.825946	1.105042	1.513772	-0.0209899	-0.0414737	0.0026522
3240	5.588455	3.125159	3.6980552	3.62083	1.136937	1.62571	-0.015913	-0.0102289	-0.0048222
3300	5.689011	3.502342	2.9413923	3.187704	1.100955	1.490374	0.0193839	-0.0306409	-0.0057492
3360	5.774319	2.837479	2.8715281	2.945562	0.924573	1.786037	0.031591	-0.0078991	-0.022161
3420	6.558001	3.65709	3.2644577	3.188129	0.814486	2.037916	0.0115671	-0.055435	-0.0207214
3480	7.451501	3.530991	3.2970952	3.457694	1.328521	1.485014	-0.0108957	-0.0801323	-0.0410275
3540	7.45914	3.68961	3.4582667	3.560567	1.000137	1.153436	-0.028975	-0.1539262	-0.1287751
3600	8.218784	4.136822	3.8182053	3.572441	0.998569	1.230073	-0.0671763	-0.1934774	-0.1727247
3660	8.222427	4.425799	3.7542449	3.745361	0.924912	0.982924	-0.0902662	-0.2606376	-0.2136182
3720	8.907442	4.435093	3.5219667	3.604556	1.135931	1.123219	-0.1144786	-0.3148005	-0.2828903
3780	9.162521	4.456241	3.7051518	3.566423	1.133194	1.156712	-0.1008453	-0.3391617	-0.3417401
3840	9.005184	4.274675	3.7824164	3.791891	1.048732	1.339455	-0.083291	-0.367666	-0.3603482
3900	7.802577	3.912699	3.7368912	3.780508	1.147738	1.260543	-0.0996356	-0.347174	-0.3329076
3960	6.883254	3.464725	3.3577138	3.382779	1.002011	1.100879	-0.0972309	-0.3091314	-0.2779488
4020	6.304808	2.760794	3.2377247	3.177195	0.975399	0.945244	-0.1047468	-0.2480338	-0.2008395
4080	5.686197	1.783788	3.2580289	3.014369	0.797277	0.793481	-0.0797729	-0.1942828	-0.1443467
4140	4.619913	1.427481	3.0558346	2.931161	0.730477	0.914173	-0.0562763	-0.1499694	-0.126801
4200	4.001381	1.469914	3.0357838	2.784963	0.734892	1.157332	-0.0473962	-0.1459907	-0.1268515
4260	3.136377	0.322275	2.376066	2.606626	0.710821	1.171722	-0.0171962	-0.1314919	-0.1071052
4320	3.086672	0.534191	2.0874882	2.559591	0.636134	1.401382	-0.020113	-0.1425393	-0.0957055
4380	3.263066	0.0826	2.5530057	2.621103	0.664435	1.343975	-0.0467501	-0.1504658	-0.1102476
4440	2.701478	0.473814	2.4233265	2.617503	0.806623	1.091127	-0.055942	-0.160661	-0.125278
4500	3.747239	0.732624	2.5988116	2.627793	0.747209	0.767937	-0.0635109	-0.178747	-0.1416778
4560	4.298692	0.988843	3.0827608	2.561665	0.568872	0.616803	-0.0816603	-0.2464598	-0.214344
4620	4.994981	1.305115	2.7329064	2.610479	0.530219	0.765634	-0.1042409	-0.2808025	-0.2588463
4680	5.336666	1.865317	2.5001508	2.552009	0.507803	0.542302	-0.1270437	-0.3432258	-0.3122453
4740	5.891223	1.883637	2.9256143	2.600141	0.767117	0.635381	-0.1346378	-0.3941367	-0.3538623
4800	5.33854	2.012074	3.2262958	3.211708	0.69911	0.716763	-0.1427555	-0.4138339	-0.4013085

**Ketinggian Inundasi Tsunami Terhadap Waktu pada Titik Probe Topografi
Data Terrain Model (DTM)**

time	titik 10	titik 6	Titik 1	titik 13	titik 16	titik 19	titik 27	titik 29	titik 30
4860	4.711547	1.636812	3.1180786	2.980128	0.791884	0.517526	-0.1486792	-0.4318154	-0.4289508
4920	4.379613	1.521084	2.8623224	2.951975	0.800867	0.642476	-0.1442222	-0.4334338	-0.4145379
4980	4.017384	0.953476	2.7599733	2.882762	0.732732	0.756278	-0.1424761	-0.4010017	-0.3615088
5040	3.592083	0.645785	2.839725	2.627941	0.50838	0.622029	-0.1295194	-0.3520697	-0.3219886
5100	3.148024	0.54955	2.6891074	2.698388	0.482922	0.576587	-0.1007123	-0.2970455	-0.2818713
5160	2.439949	-0.201111	2.4627533	2.486654	0.476432	0.69016	-0.0988631	-0.2281688	-0.2289614
5220	1.779213	-0.536194	2.2275148	2.249618	0.447612	0.718632	-0.0723233	-0.2052768	-0.1811633
5280	1.350176	-0.631147	2.1385539	2.11876	0.417977	0.774388	-0.0617699	-0.1672471	-0.1284861
5340	1.061413	-0.503214	1.9928097	2.059265	0.427141	0.837231	-0.0649915	-0.1386059	-0.1262717
5400	0.92736	-0.601747	1.9479789	1.979428	0.407281	0.894103	-0.050466	-0.1676586	-0.1339807

(halaman ini sengaja dikosongkan)

Ketinggian Inundasi Tsunami Terhadap Waktu pada Titik Probe Topografi *Data Surface Model (DSM)*

time	titik 10	titik 6	titik 1	titik 13	titik 16	titik 19	titik 27	titik 29	titik 30
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	-7.269543	0	0	0	0	0	0	0	0
180	-8.0438705	0	0	0	0	0	0	0	0
240	-0.195122	-6.964689	0	0	0	0	0	0	0
300	-1.2901865	-8.846357	0	0	0	0	0	0	0
360	1.236875	-4.244833	-0.5205576	-0.0089968	0	0	0	0	0
420	-3.057578	-3.424826	-0.5060004	-0.0094268	0	0	0	0	0
480	-1.074865	-1.967998	-0.3554775	-0.1963212	-0.505419	0	0	0	0
540	-0.643284	-1.173511	-0.231061	-0.3411032	0.179712	0	0	0	0
600	2.205582	-1.447318	2.879007	0.299143	0.861156	0	0	0	0
660	1.89486	-0.754219	0.1035025	0.295953	1.2437664	0	0	0	0
720	8.75216	6.319401	1.3943745	0.3730585	1.42353	0	0	0	0
780	11.744442	6.841695	0.105324	0.7390911	1.831266	0	0	0	0
840	12.256722	6.310293	1.317351	1.1554028	1.9820364	0	0	0	0
900	12.279725	5.986464	2.606535	0.9950172	1.3753908	0	0	0	0
960	10.732441	4.770643	1.733823	1.029535	1.6696812	0	0	0	0
1020	7.774901	4.389126	2.5846948	0.8579251	2.4714948	0	0	0	0
1080	6.660447	2.918312	3.2907845	0.9529058	1.2852576	0	0	0	0
1140	6.16193	1.664292	2.959404	1.0742327	1.5557436	0	0	0	0
1200	5.200031	1.279971	2.709737	1.0238344	1.45780448	0	0	0	0
1260	6.497047	2.928907	2.5321865	0.7899701	1.5925524	0	0	0	0
1320	8.360171	2.323668	1.057244	0.4541923	0.50537952	0	0	0	0
1380	7.179541	3.95725	1.779915	0.5072071	0.70658616	0	0	0	0
1440	10.086646	5.360195	0.986055	0.3655354	0.24622624	0	0	0	0
1500	8.492641	4.600584	1.1510765	0.2947227	0.40933384	0	0	0	0
1560	9.478269	5.085184	1.361514	0.2249901	0.57004604	0	0	0	0
1620	10.334139	6.175882	0.947786	0.2561223	0.73289264	0	0	0	0
1680	10.727062	5.577886	1.5326955	0.339472	0.8818784	0	0	0	0
1740	10.601468	5.646836	0.520422	0.3688328	0.79873772	0	0	0	0
1800	11.178536	5.524089	0.9777775	0.3059546	0.43432952	0	0	0	0
1860	9.447441	5.751116	0.8145375	0.3229443	1.2695852	0	0	0	0
1920	8.595719	5.30009	0.982751	0.3147885	1.4689892	0	0	0	0
1980	8.877754	4.732735	0.2794295	0.3491151	1.3395448	0	0	0	0
2040	9.043913	4.607026	0.2608865	0.3347775	1.00801448	0	0	0	0
2100	8.870501	5.16185	1.2574476	0.3493873	1.423556	0	0	0	0
2160	8.36915	4.499952	1.2322555	0.3414375	1.0147248	0	0	0	0
2220	7.916531	4.782264	0.678445	0.353244	0.9813816	0	0	0	0
2280	7.711868	4.241449	0.122597	0.3981978	1.296072	0	0	0	0
2340	6.795156	4.095189	0.2529765	0.3313696	1.1674632	0	0	0	0

Ketinggian Inundasi Tsunami Terhadap Waktu pada Titik Probe Topografi *Data Surface Model (DSM)*

time	titik 10	titik 6	titik 1	titik 13	titik 16	titik 19	titik 27	titik 29	titik 30
2400	6.911461	4.421331	0.695793	0.3550522	1.2422076	0	0	0	0
2460	7.360411	4.438598	0.112637	0.3765604	1.2231072	0	0	0	0
2520	7.789874	4.890835	0.4072355	0.2573368	1.6222964	0	0	0	0
2580	9.067731	5.987989	0.83762	0.2761838	1.3510464	0	0	0	0
2640	10.553794	5.639922	0.5009076	0.2766391	1.2936144	0	0	0	0
2700	10.726437	6.034653	0.5343996	0.2431928	0.9593208	0	0	0	0
2760	10.502601	6.569187	0.4044516	0.1942732	1.02020468	0	0	0	0
2820	9.815798	6.775066	0.3737064	0.2580244	1.21357367	0	0	0	0
2880	9.868135	6.113526	0.7553388	0.2179152	1.21747443	0	0	0	0
2940	9.366321	5.345003	0.4710108	0.2477075	1.4979135	0	0	0	0
3000	8.648662	4.75631	0.227983	0.2388627	0.9409476	0	0	0	0
3060	7.23052	4.617054	0.3952296	0.1607176	0.8474724	0	0	0	0
3120	6.631467	3.725945	0.4006808	0.1596691	0.8219748	0	0	0	0
3180	6.16308	3.345739	0.3937912	0.2950317	0.9660504	0	0	0	0
3240	5.588455	3.125159	0.4080656	0.1999132	0.9206307	0	0	0	0
3300	5.689011	3.502342	0.492339	0.1590425	0.8810505	0	0	0	0
3360	5.774319	2.837479	0.6011295	0.1889717	0.6870303	0	0	0	0
3420	6.558001	3.65709	0.2955585	0.3397433	0.5659346	0	0	0	0
3480	7.451501	3.530991	0.2335095	0.2273909	1.1533731	0	0	0	0
3540	7.45914	3.68961	0.424776	0.2470938	0.7921507	0	0	0	0
3600	8.218784	4.136822	0.556791	0.1976172	0.7904259	0	0	0	0
3660	8.222427	4.425799	0.164907	0.27969	0.7094032	0	0	0	0
3720	8.907442	4.435093	0.164461	0.2109224	0.9415241	0	0	0	0
3780	9.162521	4.456241	0.159364	0.3146316	1.0238328	0	0	0	0
3840	9.005184	4.274675	0.662598	0.283045	0.9224784	0	0	0	0
3900	7.802577	3.912699	0.4297626	0.1853363	1.0412856	0	0	0	0
3960	6.883254	3.464725	0.831291	0.1699154	0.8664132	0	0	0	0
4020	6.304808	2.760794	0.6231885	0.2185933	0.8344788	0	0	0	0
4080	5.686197	1.783788	0.9506316	0.1721327	0.6207324	0	0	0	0
4140	4.619913	1.427481	0.922317	0.1100017	0.5405724	0	0	0	0
4200	4.001381	1.469914	0.8929605	0.2075211	0.4094028	0	0	0	0
4260	3.136377	0.322275	0.96448	0.1669079	0.3877389	0	0	0	0
4320	3.086672	0.534191	0.9626625	0.1208307	0.3205206	0	0	0	0
4380	3.263066	0.0826	0.6398745	0.2036416	0.3459915	0	0	0	0
4440	2.701478	0.473814	0.566619	0.1545603	0.4739607	0	0	0	0
4500	3.747239	0.732624	0.283344	0.1733524	0.4204881	0	0	0	0
4560	4.298692	0.988843	0.2375555	0.2029139	0.3139848	0	0	0	0
4620	4.994981	1.305115	0.170617	0.1816727	0.2791971	0	0	0	0
4680	5.336666	1.865317	0.161221	0.2874963	0.2590227	0	0	0	0
4740	5.891223	1.883637	0.1216224	0.1959788	0.8206755	0	0	0	0
4800	5.33854	2.012074	0.398592	0.1858246	0.431199	0	0	0	0

**Ketinggian Inundasi Tsunami Terhadap Waktu pada Titik Probe Topografi
Data Surface Model (DSM)**

time	titik 10	titik 6	titik 1	titik 13	titik 16	titik 19	titik 27	titik 29	titik 30
4860	4.711547	1.636812	0.4175496	0.1871154	0.5146956	0	0	0	0
4920	4.379613	1.521084	0.3673608	0.1457278	0.5227803	0	0	0	0
4980	4.017384	0.953476	0.4541184	0.173557	0.6152784	0	0	0	0
5040	3.592083	0.645785	0.4293312	0.2017423	0.230704	0	0	0	0
5100	3.148024	0.54955	0.8286672	0.1846244	0.4206752	0	0	0	0
5160	2.439949	-0.201111	0.7599732	0.2714698	0.2051456	0	0	0	0
5220	1.779213	-0.536194	0.5126148	0.2521345	0.1820896	0	0	0	0
5280	1.350176	-0.631147	0.5582424	0.2327763	0.1583816	0	0	0	0
5340	1.061413	-0.503214	0.605478	0.2264258	0.1657128	0	0	0	0
5400	0.92736	-0.601747	0.286243	0.154967	0.1498248	0	0	0	0

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Estka Eko Fadhil, Lelaki kelahiran Balikpapan 14 April 1995 ini merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis menyelesaikan pendidikan formal di SDIT Al-Auliya Balikpapan, MTsN 1 Malang dan SMAN 8 Malang. Setelah Pendidikan 9 tahunnya selesai, penulis melanjutkan belajar di perguruan tinggi. Lewat Jalur SNMPTN penulis melanjutkan kuliah di Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Penulis terdaftar sebagai mahasiswa ITS dengan NRP 4313100056. Selama kuliah penulis mendedikasikan diri untuk mengambil bidang keahlian Teknik dan Manajemen Pantai (*Coastal Engineering and Management*). Pada masa kuliah, penulis juga aktif di berbagai kegiatan intra dan extra kampus seperti kegiatan kemahasiswaan, UKM, dan juga komunitas. Menjadi staff Sosial Masyarakat (SOSMAS) BEM ITS 2014-2015 menjadi bekal untuk penulis melanjutkan menjadi Ketua Divisi pada Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan (HIMATEKLA) pada tahun 2015-2016. Disamping itu Penulis juga menjadi Ketua Rumah Tangga (RT – Setara Departemen Dalam Negeri di himpunan) di Unit Kegiatan Mahasiswa, Paduan Suara Mahasiswa (PSM) ITS. Pada tahun 2017 penulis diberi kesempatan untuk merasakan Kerja Praktek di Balai Penelitian dan Pengembangan Panta dalam divisi peneliti selama dua bulan dan belajar mengenai tsunami dan penggunaan *software* pendukung. Penulis juga merasakan magang di BPPT Yogyakarta yang juga sebagai sarana penulis untuk mengerjakan Tugas Akhir ini. Apabila ada kritik, saran, ataupun pertanyaan untuk Tugas Akhir penulis, bisa disampaikan melalui email di estkamail@gmail.com

(halaman ini sengaja dikosongkan)